

# 全球气候变化对小兴安岭阔叶红松林影响的动态模拟研究<sup>\*</sup>

邓慧平<sup>\*,\*</sup> (安徽师范大学地理系, 芜湖 241000)

吴正方 周道玮 (东北师范大学, 长春 130024)

**【摘要】** 应用林窗模型 (Forest Gap Model) 及 4 种大气环流模式 (General Circulation Models, GCMs) CO<sub>2</sub> 加倍“平衡响应”数值试验结果模拟了小兴安岭阔叶红松林对未来气候变化的动态响应过程。结果表明, 在美国高达空间研究实验室 (Goddard Institute for Space Studies, 简记 GISS) 和美国俄勒冈州立大学 (Oregon State University, 简记 OSU) GCMs 预测的 CO<sub>2</sub> 倍增未来气候情景下, 与本底生物量 (目前气候条件下) 相比, 阔叶红松林生物量逐渐升高, 目前云冷杉阔叶红松林将逐渐向枫桦、紫椴和裂叶榆阔叶红松林演变; 但在普林斯顿大学地球流体动力学实验室 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Princeton University, 简记 GFDL) 和英国气象局 (United Kingdom Meteorological Office, 简记 UKMO) GCMs 预测的未来情景下, 由于较大幅度的增温, 云冷杉红松林将向以蒙古栎、紫椴和裂叶榆为主要树种的阔叶林演变。未来增温速率决定了阔叶红松林未来的演替方向。

**关键词** 全球气候变化 阔叶红松林 动态响应模拟

**Response of broadleaved *Pinus koraiensis* forests in Xiaoxinganling Mt. to global climate change — a dynamic modeling.** DENG Huiping (Department of Geography, Anhui Normal University, Wuhu 241000), WU Zhengfang and ZHOU DaoWei (Northeast China Normal University, Changchun 130024). -Chin. J. Appl. Ecol., 2000, 11(1): 43~46.

In this paper, the Forest Gap Model and four General Circulation Models (GCMs) were employed to investigate the dynamic response of broadleaved *Pinus koraiensis* forests in Xiaoxinganling Mountains of China to global climate change. Under CO<sub>2</sub> doubling which was simulated by the scenarios of Oregon State University and Goddard Institute for Space Studies, the biomass of broadleaved *Pinus koraiensis* forest increased and the current *Picea Abies*-broadleaved *Pinus koraiensis* forest would gradually develop to *Betula costata*-*Tilia amurensis*-*Ulmus laciniata*-broadleaved *Pinus koraiensis* forest. Under the scenarios of Geophysical Fluid Dynamics Laboratory at Princeton University and United Kingdom Meteorological Office, *Pinus koraiensis* and other coniferous species would be replaced by broadleaved species such as *Quercus mongolica*, *Tilia amurensis* and *Ulmus laciniata*, and the broadleaved *Pinus koraiensis* forest would change to broadleaved forest, due to the great range increasing temperature by the scenarios. The future warming rate would determine the succession of broadleaved *Pinus koraiensis* forest.

**Key words** Global climate change, Broadleaved *Pinus koraiensis* forest, Dynamic response modeling.

## 1 引言

近百年来 (1880~1990 年), 全球平均气温上升了 0.55℃, 全球平均降水量增加了 21mm<sup>[8]</sup>。根据一些气候模式按照大气中温室气体增加情况计算的气候变暖的速率, 全球平均温度每 10 年要增加 0.2~0.5℃<sup>[1]</sup>。根据政府间气候变化专门委员会 (Intergovernment Panel On Climate Change, IPCC) 最近研究结果, 预计到 2100 年全球平均地面气温将比 1990 年上升 1.0~3.5℃<sup>[5]</sup>。

东北地区是我国重要的木材生产基地, 以红松为优势种与其它针叶、阔叶树种组成的温带针阔混交林, 习惯称之为阔叶红松林, 是该地区东部湿润山地地带性顶极植被类型。其分布中心在东北长白山、张广才岭、小兴安岭和完达山山地, 分布区南北跨度近 10 个

纬度, 垂直分布范围大于 500m。红松林未来动态变化是林业长期经营计划的依据, 有着重要的意义。桑卫国等<sup>[6]</sup>应用林窗模型模拟了目前气候条件下红松林的动态演变。然而, 在未来 100 年中全球气候将可能发生较大的变化, 这种变化必然会影响到未来红松林动态演变。本文旨在应用林窗模型模拟在未来全球气候变化条件下红松林的动态演替, 为制定红松林林区长期规划和研究气候变化林业适应对策提供科学依据。

## 2 模型与资料来源

### 2.1 林窗模型

林窗模型 1972 年由 Botkin 等提出, 后由 Shugart 等改进而

<sup>\*</sup> 国家科委全球气候变化研究森林影响专题支持和安徽师范大学专项基金资助项目。

<sup>\*\*</sup> 通讯联系人。

1998-11-16 收稿, 1998-12-12 接受。

成<sup>[2,7]</sup>,它能够揭示公顷尺度上几十年至几百年以上森林群落的动态演替过程.它将公顷级立地根据树木生长的冠幅大小适当分隔作为样地,然后对每个样地中的每一棵树木作好编号,模拟它从发芽、生长和死亡的过程,并将树木之间的竞争、树木对周围环境变化的响应有机融合于模拟过程中.近些年来,该模型已被广泛应用于森林生态系统对气候变化的动态响应研究<sup>[3]</sup>.模型中主要方程有材积增长率方程、胸径增长率方程、树木可获得光照方程、各种水温影响函数、叶面积与叶重经验方程、叶重与茎重经验方程、茎重与体积经验方程、死亡率方程以及更新数量计算方程等.这些方程中的参数是通过许多专家

表 1 红松林主要树种的林学及生态学参数

Table 1 Silvicultural and ecological parameters of tree species in broad-leaved *Pinus koraiensis* forest in the Xiaoxinganling Mountain

树 种 Species	最大高度 Maximum height (m)	最大胸径 Maximum breast diameter (cm)	最大年龄 Maximum age (yr)	最大发芽数 Maximum seedling	耐荫程度 Tolerance to light	生长度日 Degree day( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}^{-1}$ )	
						最大 Maximum	最小 Minimum
色木槭 <i>Acer mono</i>	28	70	230	60	1	3980	1770
臭冷杉 <i>Abies nephrolepis</i>	32	90	180	140	1	3460	1400
水曲柳 <i>Fraxinus mandshurica</i>	30	95	280	70	1	3800	1750
核桃秋 <i>Juglans mandshurica</i>	28	80	210	30	2	3780	1800
黄菠萝 <i>Phellodendron amurense</i>	24	60	170	20	1	3670	1850
枫桦 <i>Betula costata</i>	25	60	200	100	1	3560	1490
春榆 <i>Ulmus propinqua</i>	29	90	250	60	1	3830	1600
鱼鳞云杉 <i>Picea jezoensis</i> var. <i>microsperma</i>	30	100	290	70	1	3400	1470
红皮云杉 <i>Picea koraiensis</i>	32	110	300	80	1	3550	1430
红松 <i>Pinus koraiensis</i>	35	150	450	110	1	3650	1650
裂叶榆 <i>Ulmus laciniata</i>	24	80	290	70	1	3950	1640
紫椴 <i>Tilia amurensis</i>	30	90	250	95	1	3980	1590
糠椴 <i>Tilia manshurica</i>	28	90	250	30	1	3800	1700
蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>	32	110	300	60	2	4160	1450
青杨 <i>Populus cathayana</i>	39	100	150	40	2	4010	1780
白桦 <i>Betula platyphylla</i>	22	50	100	30	2	4000	1550
花楷槭 <i>Acer ukurunduense</i>	15	30	100	80	1	3600	1550
青楷槭 <i>Acer tegmentosum</i>	15	30	100	70	1	3600	1550

### 3 结果与分析

#### 3.1 本底气候条件下阔叶红松林动态模拟

以国家研究计划提供的气候网格数据( $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ ) (1954~1980年平均月气温和月降水量的平均值及其标准差)作为本底气候条件,采用随机生成方式生成模拟年每月气温和降水.在本底气候条件下将林窗模型运行500个模拟年,对小兴安岭阔叶红松林保护区裸地森林的长期演替过程进行模拟.运算程序主要有主程序及名为参数(Para)、气候(Clim)、初始(Init)、幼芽(Seedin)、生长(Grow)、死亡(Mortal)、网格(Grid)及结果(Result)等9个子程序.

本底气候条件模拟结果表明(图1),云冷杉阔叶红松林在林窗产生后的60模拟年左右,单位面积树木总株数达到最高值,近2300株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ ,直径多小于15cm,地上部活生物总量随之迅速上升,约70~100个模拟年期间,总生物量处于第一个高峰时期,约220t $\cdot\text{hm}^{-2}$ .随着树木生长对光、热、水及养分资源需求的增加,竞争也随之开始,树木株数开始下降.一些生长较快的或环境适应能力较强的树种在树冠中争得

的野外工作得到的,经过全世界不同地点的使用证明了其可靠性<sup>[4]</sup>.详细过程及方程具体形式可参见文献[2,4].本文使用的林窗模型软件由中美合作国家研究项目(Country Study Program)提供.

#### 2.2 模拟区红松林主要树种林学及生态学参数

模拟区选在小兴安岭阔叶红松林保护区,年平均温度-2.3 $^{\circ}\text{C}$ ,最冷月-25.9 $^{\circ}\text{C}$ , $>0^{\circ}\text{C}$ 积温2053 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}^{-1}$ ,年降水量623mm,属云冷杉阔叶红松林.除红松外,鱼鳞云杉、臭冷杉、红皮云杉及枫桦、紫椴、蒙古栎及裂叶榆等占有较大比重.模型中所需红松林群落各种树种的参数见表1.

比较有利的位置,红松、云冷杉、枫桦等逐渐争得优势地位形成优势种.云冷杉红松林树种生物量构成见图2.红松生物量占总生物量的比重逐步随时间稳定增加,而一些伴生种随时间减少,甚至消失.

#### 3.2 阔叶红松林对未来气候变化的响应

根据OSU、GISS、GFDL及UKMO GCMs预测的 $\text{CO}_2$ 倍增气温变化值 $T(^{\circ}\text{C})$ 及降水变化百分率

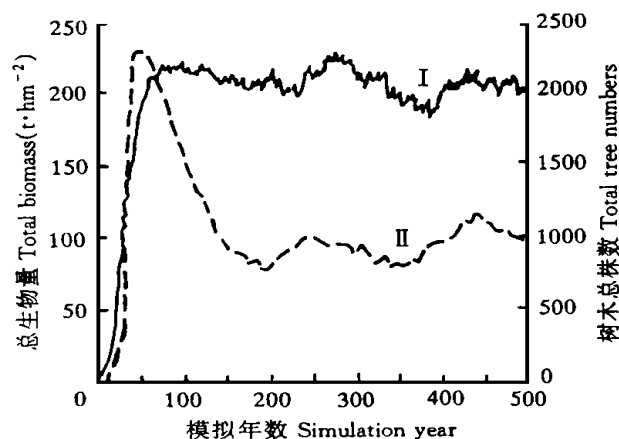


图1 云冷杉阔叶红松林模拟生物量、树木株数随时间的变化

Fig. 1 Changes of modeling biomass and tree's total numbers with simulation years.

·总生物量 Total biomass, ·总株数 Total plant number.

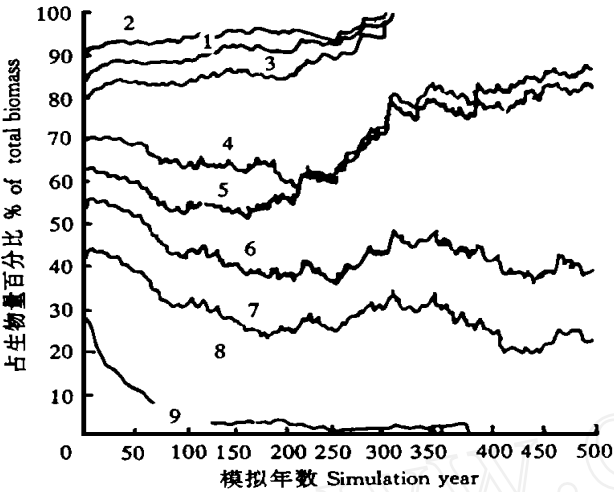


图 2 模拟阔叶红松林树种生物量构成  
Fig. 2 Modeling composition of main species in broad-leaved *Pinus koraiensis* forest.  
1. 裂叶榆 *Ulmus laciniata*, 2. 紫椴 *Tilia amurensis*, 3. 蒙古栎 *Quercus mongolica*, 4. 红皮云杉 *Picea koraiensis*, 5. 鱼鳞云杉 *Picea jezoensis* var. *microserpa*, 6. 红松 *Pinus koraiensis*, 7. 枫桦 *Betula costata*, 8. 臭冷杉 *Abies nephrolepis*, 9. 其余树种 Other tree species. 下同 The same below.

表 2 模拟区气候本底和未来气候情景  
Table 2 Climate baseline and scenarios over *Pinus koraiensis* distribution zone

		月份 Month											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
本底	T( )	- 25.9	- 21.6	- 11.0	1.0	9.0	14.4	17.9	16.2	8.5	0.0	- 12.6	- 23.4
Baseline	P(mm)	4.0	4.0	10.0	19.0	47.0	85.0	187.0	148.0	71.0	31.0	11.0	6.0
GISS	T( )	- 20.3	- 17.9	- 7.5	5.8	12.3	17.1	21.0	19.1	13.1	2.6	- 6.4	- 19.7
	P(mm)	4.0	4.0	11.0	20.0	52.0	94.0	206.0	161.0	78.0	33.0	12.0	6.0
GFDL	T( )	- 18.4	- 14.6	- 3.8	10.1	16.5	21.2	23.3	22.6	15.5	8.6	- 5.1	- 16.3
	P(mm)	4.0	4.0	10.0	21.0	51.0	94.0	205.0	159.0	79.0	34.0	12.0	6.0
OSU	T( )	- 22.8	- 17.3	- 8.3	4.4	11.3	18.0	20.1	18.6	11.6	2.9	- 9.9	- 20.7
	P(mm)	4.0	4.0	10.0	21.0	51.0	94.0	208.0	162.0	78.0	34.0	12.0	6.0
UKMO	T( )	- 17.8	- 12.5	- 2.7	8.0	22.5	21.8	23.0	20.7	15.0	7.8	- 3.0	- 17.1
	P(mm)	4.0	4.0	11.0	21.0	54.0	95.0	207.0	160.0	78.0	34.0	12.0	6.0

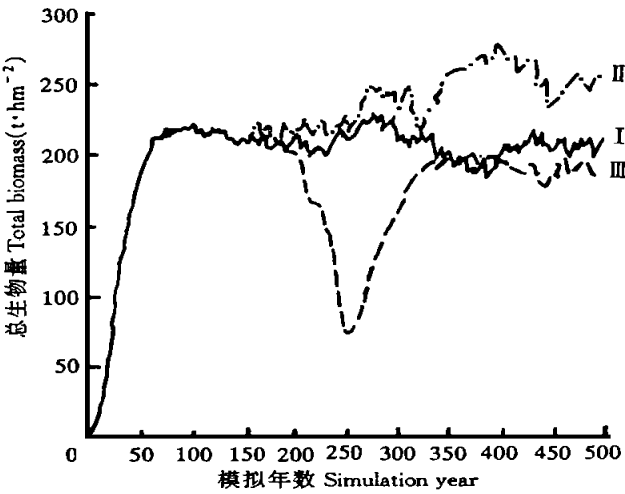


图 3 各种气候情景下生物量的变化  
Fig. 3 Changes of biomass with time under four climate scenarios.  
· 本底 Baseline, ··· GISS, ····· GFDL, - · - OSU.

气候变化不仅影响云冷杉阔叶红松林生物量,更重要的是优势种的构成产生了相当大的变化(图 4)。

$P$  (%) 由下式得到  $\text{CO}_2$  倍增 ( $2 \times \text{CO}_2$ ) 后的月平均气温  $T$  ( ) 和月降水量  $P$  (mm) (表 2)。

$$T = T_{\text{base}} + \Delta T \tag{1}$$

$$P = P_{\text{base}} \cdot (1 + \Delta P) \tag{2}$$

式中,  $T_{\text{base}}$ 、 $P_{\text{base}}$  分别为本底月平均气温和月降水量。

模拟区云冷杉阔叶红松林现在林龄接近 150 年,考虑到在未来 100 年左右大气中  $\text{CO}_2$  浓度将达到工业化前的 2 倍,因此,在进行红松林气候变化响应模拟时先按本底气候运行 150 个模拟年,从 151 模拟年开始,气温和降水均匀增加到 250 模拟年达到表 2 中的情景值,然后再继续运行 250 年,共运行 500 个模拟年。

图 3 是 4 种气候情景下云冷杉阔叶红松林生物量变化曲线,与本底生物量相比,OSU 和 GISS 情景下红松林生物量是增加的,而 GFDL 和 UKMO 情景下生物量从第 151 个模拟年开始迅速下降,到第 250 模拟年达到最小值。各种情景之间的降水差异很小,而在相同时间内温度增幅则差异较大,因此增温速率的不同是造成生物量差异的主要原因。

在无外来种侵入前提下,OSU 和 GISS 情景下,红松生物量占总生物量的比重在第 151 模拟年份至第 300 个模拟年间不断增加,其它针叶树种生物量逐渐减少,云冷杉阔叶红松林逐渐向枫桦、紫椴及裂叶榆阔叶红松林演变;而在 GFDL 和 UKMO 情景下,较大幅度的增温,使红松等针叶树种难以适应,在第 151 模拟年份至 250 模拟年间随温度升高趋于消失,代之以蒙古栎、紫椴及裂叶榆组成的阔叶林。由此可见,在降水变化不大的情况下,不同的增温幅度和速率在决定未来阔叶红松林动态演替中起重要作用。

#### 4 结 论

未来气候变化将影响云冷杉阔叶红松林的生物量及组成结构。不同的增温幅度,阔叶红松林树种结构改变不一。在无外来种侵入条件下,未来年降水增加 10 % 左右而年气温增幅  $< 4$  ,云冷杉阔叶红松林中的云冷杉比重将逐渐减少,红松比重将进一步加大,总生

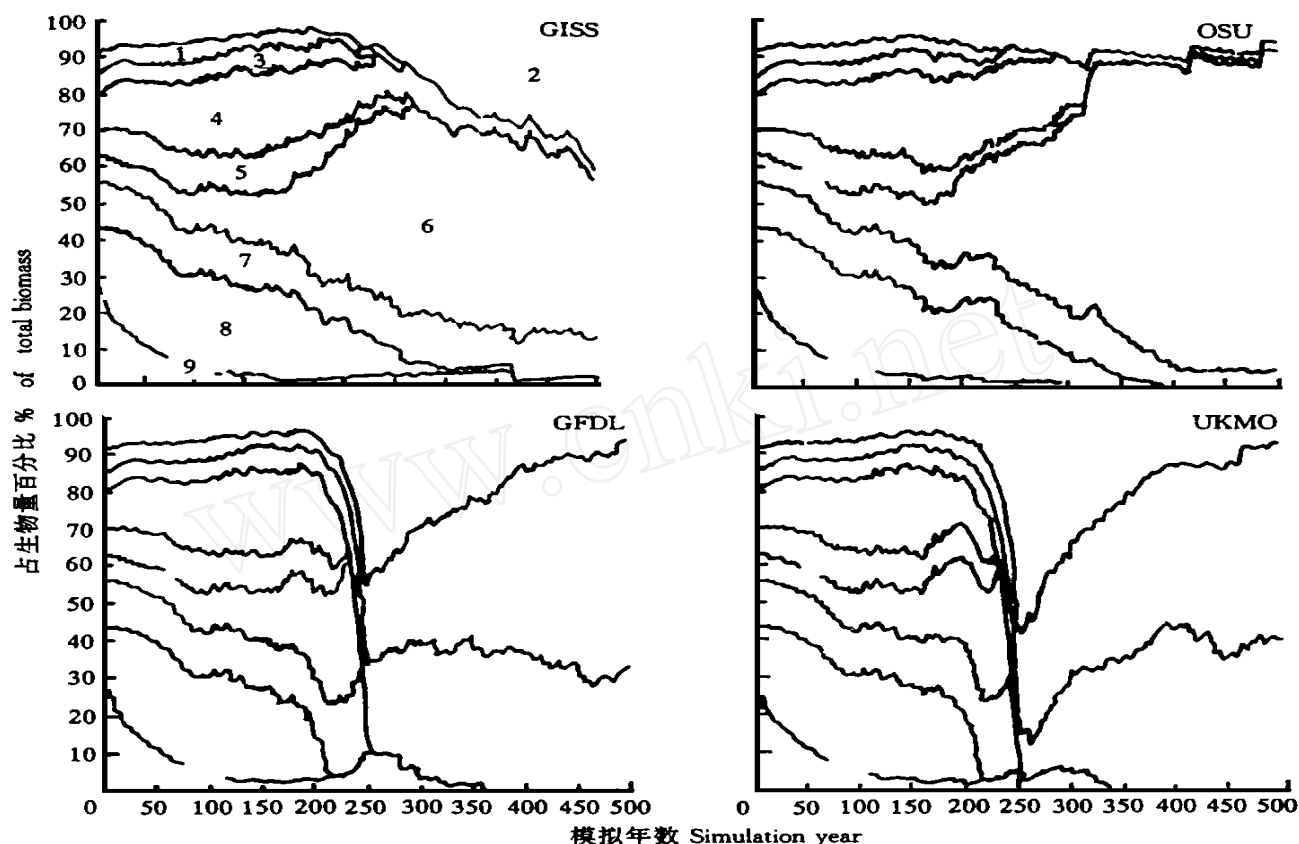


图4 4种气候情景下树种生物量构成

Fig.4 Composition of the species biomass under four climate change scenarios.

物量将有所增加,目前的云冷杉阔叶红松林演变成枫桦紫椴阔叶红松林.在未来年降水增加10%左右而气温增幅 $>5.0$  情况下,云冷杉连同红松等树种将消失,目前的阔叶红松林将被以蒙古栎、紫椴和裂叶榆为主组成的阔叶林所取代.

致谢 文中插图由安徽师范大学地理系田继风老师帮助清绘,特此致谢.

#### 参考文献

- 1 Bretherton FP, Bryan K and Woods JD. 1992. Time dependent greenhouse-gas-induced climate change. In: Houghton JT *et al.* eds. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment* Cambridge: Cambridge University Press. 173 ~ 193
- 2 Bockheim DB, Janak JF, Wallis JR. 1972. Some ecological consequences of a computer model of forest growth. *J Ecol*, **60**: 849 ~ 873
- 3 Bonan GB, Shugart H H and Urban DL. 1990. The sensitivity of

some high latitude boreal forests to climate parameters. *Climate Change*, **16**(1): 9 ~ 29

- 4 Boersma MV, Schaik CP, Hogeweg P. *et al.* 1990. Nutrient gradients and spatial structure in tropical forests - a model study. *Ecol model.* **55**: 219 ~ 240
- 5 Kenneth DF and David CM. 1997. Climate change and water resources. *Climate Change*, **37**(1): 7 ~ 23
- 6 Sang W-G(桑卫国), Li J-W(李景文). 1998. Dynamics modeling of Korean pine forest in southern lesser Xingan Mountains of China. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **18**(1): 38 ~ 47(in Chinese)
- 7 Shugart HH, West OC. 1980. Forest succession models. *Bioscience*, **30**: 308 ~ 313
- 8 Wang Sh-W(王绍武). 1994. Diagnostic studies on the climate change and variability for the period of 1880 ~ 1990. *Acta Meteorol Sin*(气象学报), **52**(3): 261 ~ 273(in Chinese)

作者简介 邓慧平,男,1962年生,理学博士.主要从事气候变化影响研究,发表论文16篇.