

气候变化对中国森林生产力的影响

Ⅱ. 中国森林第一性生产力的模拟*

刘世荣 徐德应 王 兵

摘 要 在中国森林第一性生产力地理分布规律研究的基础上,根据生产力与气候环境变量间的相关关系,筛选有代表性的生产力数据和与其相应的气象资料,构建了中国森林生产力气候模型,模拟出中国森林第一性生产力的分布格局;借助气候环境信息制图软件,绘制了中国森林生产力图。

关键词 中国森林、第一性生产力、气候

生产力模拟,即生产力与环境因子的数量关系是产量生态学的重要研究内容。这一研究领域,国外学者极为关注的是气候水热条件与生产力之间的数量关系,如郎格雨量指数、谢良尼诺水热系数、布德科辐射干燥指数、萨什科的大气湿度指标以及 Paterson^[1]、Rosensweig^[2]、Lieth 与 Whittaker^[3]和 Webb^[4]等都是建立生产力与温度、降水、蒸散等气候变量的数学模型。国内对地理纬度、经度和海拔高度所产生的水热条件与植被生产力的数量关系研究甚少,只限于应用 Lieth-Box 模型模拟全国或地区的生物潜在生产力^[4~6]。

鉴于 Lieth^[3]等模型是建立在整个陆地植被宏观层次上,将其应用于中国森林生产力的模拟,很可能失之粗略,而且只能反映一种潜在生产力的趋势。为此,立题研究籍以为预测气候变化对生产力的影响,提供数学模型。

1 研究方法

森林生产力的气候模拟涉及 3 个层次:(1)生产力形成过程的模拟,属于生理生态学的研究范畴,即通过光合生理过程与环境因子的关系所构建的生理生态模型进行模拟预测光合作用随气象因子的变化;(2)树种生产力,指树木个体生长或产量指标与气候条件数量关系研究,可通过树木生长过程的年轮分析与该过程的气候条件变异关系加以研究;(3)森林群落水平气候生产力,可从不同地理区的植被生产力与其所对应环境的水热条件相关关系进行研究。

构建中国森林第一性生产力的气候模型的数据资料如下:

(1)各自然地理区合理密度分布的主要森林群落的净初级生产力数据;(2)与各自然地理区生产力数据相当的气候环境参数;(3)建立生产力与气候环境变量的数学模型;(4)各地理区以合理密度测定的环境变量分布图;(5)借助气候生产力模型,将环境变量图转换为生产力图。

1993—06—28 收稿。

刘世荣副研究员,徐德应,王兵(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091)。

* 本文系国家“八五”科技攻关专题“气候变化对森林潜在影响”和国家自然科学基金重大项目“我国森林生态系统结构与功能规律的研究”资助课题。阎洪,陈伯望参加部分工作,特此致谢。

本文建模的数据是从近十年来发表的文献中筛选的,关于数据的采集原则已在本研究的第一部分中国森林生产力分布格局一文中作了详述^[7]。

2 结果与分析

2.1 气候环境变量对生产力的相关模型

利用表1中所筛选的不同地理区森林生产力数据和气候环境变量数据作主成分分析求算因子负荷量,然后进行原始数据的权重计算。在此基础上,按各种回归模式,采取最小二乘法原理,求算对应的参数值最后按相关程度选择优化模型。主成分分析结果为:第1主成分特征累计贡献率达80.34%,其中年均温、年均降水量和海拔高度的负荷量分别为0.8924、0.9197和0.6785。再分别按森林地上部净初级生产力和总净初级生产力与气候环境变量进行了单因素和多因素的相关分析,所构建的模型列入表2。以年均温度和降水量与森林总净初级生产力为例,其模型的拟合曲线如图1所示。图1的方程曲线基本上反映了净生产力与温度和降水量之间的数量关系。

表1 为模拟与环境变量关系选择的净初级生产力数据资料^[7]

[单位:t/(hm²·a)]

森林类型	地 区	生 产 力		年均温度 (°C)	年均降水量 (mm)	海拔高度 (m)
		地 上	总 量			
兴安落叶松林	大兴安岭塔河	3.08	3.20	-3.2	428	870
兴安落叶松林	大兴安岭根河	6.26	8.51	-5.4	480	900
阔叶红松林	小兴安岭凉水	7.29	8.01	-0.3	676	360
天然次生林	帽儿山老爷岭	10.79	12.71	2.8	723	300
落叶松人工林	帽儿山老山	11.71	13.86	2.8	723	350
云冷杉林	长白山	11.07	13.45	0.9	976	1 500
长白落叶松林	长白山	8.50	9.50	2.0	807	1 250
岳桦林	长白山	4.70	5.15	-2.3	1 075	1 700
阔叶红松林	长白山	10.62	15.93	3.9	783	800
红皮云杉林	内蒙白音敖包	0.75	1.04	-1.6	404	1 300
油松侧柏混交林	北京西山	8.76	10.70	11.8	630	210
青仟云杉林	内蒙贺兰山	1.41	1.74	2.3	372	2 384
油松人工林	山西太岳	9.8	11.85	8.0	657	1 500
华山松林	甘肃天水	9.61	10.84	7.1	852	1 700
华山松林	陕西秦岭	12.04	13.53	12.5	928	1 850
紫果云杉林	川西亚高山	4.68	5.66	5.8	500	3 200
巴山松林	陕西汉中	11.07	12.14	14.3	905	1 480
红杉人工林	四川卧龙	9.96	10.79	10.9	1 100	1 800
常绿阔叶林	浙江建德	14.16	18.35	16.9	1 502	400
杉木人工林	湖南会同	12.92	14.10	16.8	1 300	400
海岸红树林	福建九龙口	17.18	23.46	21.0	1 365	0.5
常绿阔叶林	广东流溪河	18.69	24.65	20.3	2 149	300
常绿阔叶林	广东鼎湖山	18.62	26.00	21.0	1 927	250
海岸红树林	海南河港	25.40	30.68	23.8	1 698	0.5
热带山地雨林	海南尖峰岭	17.58	26.86	22.0	2 500	800

按模型相关系数比较,平均降水量和年均温度与净第一性生产力相关紧密,而海拔高度与净生产力相关性较差。另外,降水量、温度和海拔高度与净生产力呈较强的多元线性相关,图1表明了按年均温度和年均降水量预测的净生产力值与实测值的拟合程度。显然,表2中方程的

表2 森林生产力与气候环境变量的相关模型

序号	因变量	模型	相关系数
1	ANPP	$e^{(1.772\ 900\ 19+0.059\ 889\ 83t)}$	0.88
2	TNPP	$e^{(1.902\ 651\ 80+0.087\ 404\ 81t)}$	0.89
3	ANPP	$27.599\ 027 \cdot e^{(-793.727\ 454/t)}$	0.87
4	TNPP	$39.761\ 850 \cdot e^{(-932.514\ 657/t)}$	0.88
5	ANPP	$e^{(2.792\ 004\ 33-0.000\ 762\ 49H)}$	0.63
6	TNPP	$e^{(3.055\ 462\ 92-0.000\ 839\ 83H)}$	0.64
7	ANPP	$3.468\ 592+0.373\ 796t+0.004\ 373P$	0.88
8	TNPP	$2.486\ 139+0.402\ 458t+0.007\ 981P$	0.90
9	ANPP	$6.520\ 897+0.355\ 786t+0.003\ 32P-0.002\ 775H$	0.92
10	TNPP	$6.462\ 307+0.378\ 997t+0.006\ 609P-0.003\ 615H$	0.93

注:ANPP:地上部分净生产力($t/(hm^2 \cdot a)$);TNPP:总净生产力($t/(hm^2 \cdot a)$); t :年均温度($^{\circ}C$); P :平均降水量(mm); H :海拔高度(m)。

估测值和实测值拟合效果较好,正负变异差近等。文内构建的10个模型中(表2),除模型(5)和(6),即海拔高度与净生产力的相关模式外,其它模型均有应用的实际价值,并能获得较好的模拟效果。

将所构建的中国森林气候生产力模型与Lieth Miami模型比较发现,年均降水量与净生产力的相关拟合曲线形状极为相似,只是本模型的拟合范围(降水量变化400~2500mm)较Lieth Miami模型(降水量变化0~4500mm)窄而已。这是由中国森林实际分布的地域范围所决定的。中国森林分布区的年均降水量主要变化在4.00mm至2600mm。但是,年均温度与净生产力相关拟合曲线形式与Lieth Miami模型曲线不尽相同。本模型拟合范围在温度-6~24 $^{\circ}C$ 之间,为正指数上升曲线,而Lieth Miami模型在此范围内呈直线上升趋势。本模型的曲线变化基本上反映出了中国森林现实生产力的地理分布特点,即中国暖温带和亚热带北部地区森林生产力偏低,所以导致出现下凹上升曲线形式。

2.2 中国森林现实生产力的模拟

利用全国1951~1980年的气象数据资料^[8],包括地理经纬度、海拔高度、年平均温度和降水量等气象指标,以全国基本气象台站为据点、采用多元样条函数插值和离散空间曲面拟合的方法,按0.5 \times 0.5经纬网格尺度分别进行海拔高度的曲面插值和三维地理空间上的气候因素拟合,在全国3911个网络点收集的气候因素估计拟合基础上构建多维气候空间图(图2)。

利用气候环境量成图原理,将文中构建的森林气候生产力模型代入计算机绘图软件程序

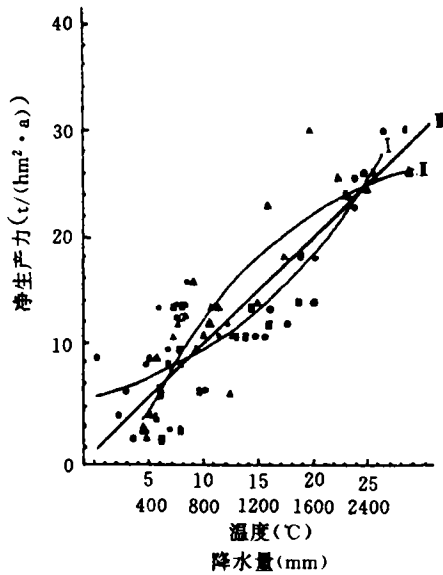


图1 森林生产力与气候因子关系

I——净生产力与年均温度曲线; II——净生产力与年均降水量曲线; III——净生产力预测与实测拟合曲线

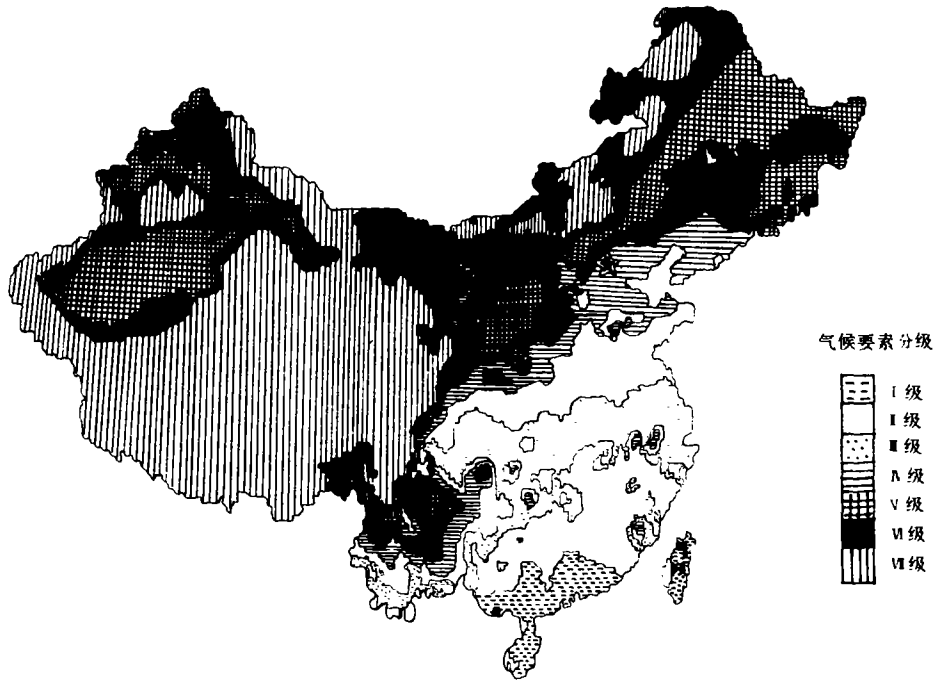


图2 中国森林气候要素空间分布示意

中,以生产力值取代对应的气候参数值实现气候变量图转换为生产力图。

计算机模拟结果表明:按不同气候变量和其组合模拟的中国森林净初级生产力的地理分布,呈现相似的变化趋势,其中据降水量或据降水量与其它参数组合所模拟的结果相似性更明显。模拟的中国森林净第一性生产力地理分布格局与中国年均温度和年均降水量的分布格局基本上一致,鲜明地反映出森林生产力分布格局主要取决于气候环境的水热条件。

按相同尺度比较模拟结果表明:按温度计算的生产力(模型2),高于按降水量(模型4)和降水量与其它变量组合(模型8、10)所求得的生产力;按降水量和降水量与其它变量组合模拟的中国森林净初级生产力的地理分布模式极为相似,而且与中国森林现实生产力的实际分布趋势基本一致。这充分表明,水分条件是限制中国森林生产力的主要因素,它决定了中国大部分地区森林生产力水平和地理分布格局,该论证被其他学者按 Lieth—Miami^[4,5]模型测算我国生物生产潜力所证实。

以模型(10)的模拟结果为例(图2),中国森林气候生产力最大值出现在海南省和台湾省为 $27\sim 29\text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$, 变异范围在 $20\sim 30\text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$; 最小值出现在大兴安岭西北部,西北半干旱地区和青藏东部为 $7\sim 9\text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$; 小兴安岭大部分地区、内蒙东部及黄土高原为 $9\sim 11\text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$; 长白山和华北东南部为 $15\sim 17\text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$; 北亚热带地区为 $17\sim 19\text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$; 中亚热带东部和西部分别为 $19\sim 23\text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 和 $9\sim 15\text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$; 南亚热带东部和西部分别为 $23\sim 27\text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 和 $19\sim 23\text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。

从中国森林生产力分布图(图3)中可见几条能反映气候环境水热条件分异明显的产量带,第一条为 $5\sim 7\text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 产量带,相当半干旱地区的分界带,年平均降水量在 400 mm 以

下;第二条为 $7\sim 9\text{ t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ 产量带,近似半干旱半湿润分界线,年平均降水量在 $400\sim 500\text{ mm}$;第三条为 $9\sim 11\text{ t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ 产量带,接近半湿润地区,年均降水量为 $500\sim 700\text{ mm}$;第四条 $17\sim 19\text{ t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ 产量带,暖温带与亚热带分界线,年均降水量在 $900\sim 1\ 000\text{ mm}$ 。上述模拟结果出现的产量带与对应年均降水量分布带的近似吻合,再次说明了中国森林生产力主要受水分环境条件的限制

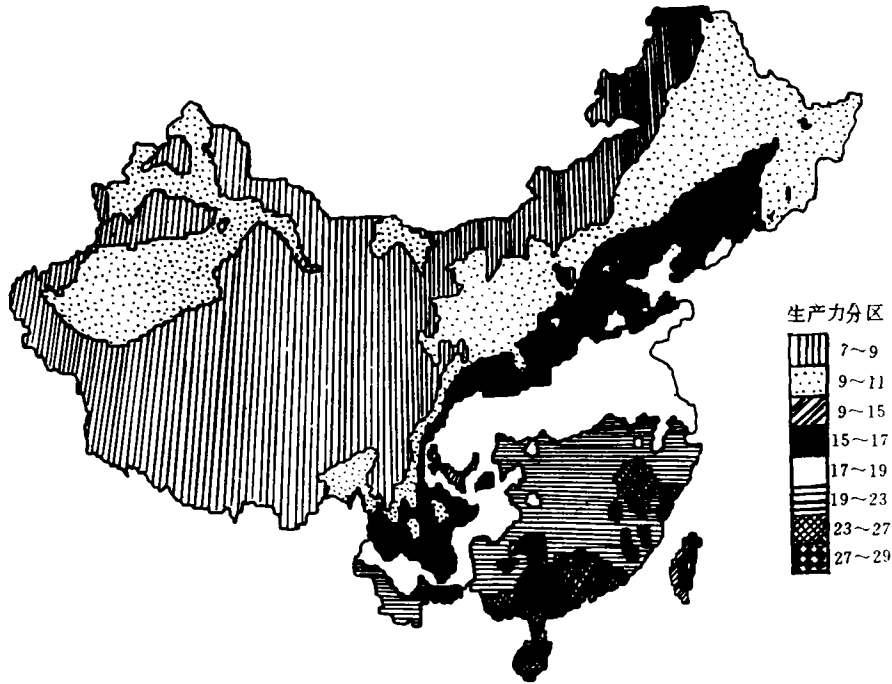


图3 中国森林生产力分布示意

按中国气候参数计算机模拟图(图2)和森林气候生产力模拟图(图3)所示,以各区气候条件指标和对应森林生产力水平为标准,将中国森林生产力划分四个产量区:Ⅰ.寒温半干旱半湿润产量区,净生产力在 $7\text{ t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ 以下,年均温度 $-6\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$,年均降水量在 500 mm 以下;Ⅱ.温暖半湿润产量区,净生产力在 $7\sim 11\text{ t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$,年均温度 $-30\sim 9\text{ }^{\circ}\text{C}$,年均降水量为 $500\sim 800\text{ mm}$;Ⅲ.温暖半湿润、湿润产量区,净生产力在 $11\sim 19\text{ t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$,年均温度 $-1\sim 15\text{ }^{\circ}\text{C}$,年均降水量 $800\sim 1\ 000\text{ mm}$;Ⅳ.热带、亚热带湿润产量区,净生产力在 $19\text{ t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ 以上,年均温度 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,年均降水量 $1\ 000\text{ mm}$ 以上。

3 问题与讨论

(1)模型本身的缺陷。所构建的数学模型主要受气候水热条件的影响。实际上,土壤条件以及其它生态因子也不同程度地制约着森林生产力,这表明了模型自身的局限性。所以下一步构建森林生产力与气候环境参数的多变量模型,准确定量复合变量的权重,使环境变量的叠加强综合作用反映出对森林生产力的影响。

(2)构建模型所用数据和资料的不确定性。在森林生产力测定中,尚无统一规范化的方法,

降低了数据和资料的可比性;测定精度较差,尤其是对地下部分生产量的测定估计缺少行之有效的办法,即测定点与气象站相隔甚远,或者有些地区尚未建立气象点,无气象资料。

(3)由于建模所需数据主要依赖天然林,所以模拟天然林生产力的效果要好于人工林生产力。人工林分布和生产力受人为控制影响较大,反映不出自然气候条件对森林作用的实际潜力。而且,人工林有其最适分布区,在适宜分布区内才能充分表现受自然力作用的生产力水平。

参 考 文 献

- 1 Paterson S S. The forest area of the world and its potential productivity. Goteborg, Royal University of Goteborg, 1956. 216.
- 2 Rosenzweig M L. Net primary productivity of terrestrial communities: prediction from climatological data, *Amer. Natur.*, 1968,102:67~74.
- 3 Lieth H, Whittaker R H. Modelling the primary productivity of the world. in *primary productivity of the Biosphere*, New York: Springer-Verlag,1975. 237~263.
- 4 贺庆棠,邵海荣. 中国植物的可能生产力. 北京林业大学学报,1986,8(2):84~98.
- 5 陈国南. 用迈阿密模型测标我国生物产量的初步尝试. 自然资源学报,1987,2(3):370~278.
- 6 Xu Deying. A comparison of potential productivity and actual productivity in the context of land degradation on Hainan Island, China. *Improving Degraded Lands: promising experiences from South China*. Honolulu: Bishop Museum Press,1993. 69~72.
- 7 刘世荣,徐德应,王兵. 气候变化对中国森林生产力的影响 I. 中国森林现实生产力的特征及地理分布格局. 林业科学研究,1993,6(6):633~642.
- 8 中央气象局. 中国地面气候资料(1951~1980). 北京:气象出版社,1985.
- 9 阎洪. 计算机引种决策支持系统的建立及其应用 I——引种区划. 林业科学,1989,25(5):395~400.
- 10 贺庆棠. 用生物量法对植物群体太阳能利用率的初步估算. 北京林业大学学报,1986,8(3):52~60.
- 11 中国植被编辑委员会. 中国植被. 北京:科学出版社,1983.
- 12 蒋有绪,卢俊培编. 中国海南岛尖峰岭热带林生态系统. 北京:科学出版社,1991.
- 13 李意德,陈步峰. 尖峰岭热带山地雨林生物量的初步研究. 植物生态学与地植物学学报,1992,16(4):293~300.
- 14 侯光良,游松才. 用筑后模型估算我国植物气候生产力. 自然资源学报,1990,3(1):60~65.

Impacts of Climate Change on Productivity of Forests in China

II. Geographic Distribution of Actual Productivity of Forests in China

Liu Shirong Xu Deying Wang Bing

Abstract In view of the relationship between productivity and climatic parameters, the models of forest climatic productivity within China were developed based on the selected datum of forest net productivity versus the corresponding climatic variables, by which the distributive pattern of the actual productivity of forests in China was successfully simulated. At the same time, the computerized maps of forest productivity within China predicted from climatic parameters were drawn by using the plotting software of climatic information. The established models by means of the plotting software were allowed to be used to simulate and predict the potential changes in growth and productivity of forests in China.

Key words Chinese forestry, forest productivity, climate