

基于 *NDVI* 的中国天然森林植被 净第一性生产力模型

S718.556

p461.7

郑元润

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 根据叶面积指数、归一化植被指数(*NDVI*)建立了中国森林植被净第一性生产力(*NPP*)模型:

$$NPP = -0.6394 - 67.064 \ln(1 - NDVI)$$

经我国13组森林植被生产力数据的验证表明,该模型的预测结果与实测值相符较好。通过与 Chikugo 模型和综合模型(周广胜等,1996)预测结果的比较,该模型在总体上优于 Chikugo 模型和综合模型。表明基于 *NDVI* 的净第一性生产力模型对我国森林植被有良好的适应性,可用于快速监测与预测我国森林生产力的动态变化。

关键词 森林植被、净第一性生产力模型、归一化植被指数 *NDVI*、气候变化

A FOREST VEGETATION *NPP* MODEL BASED ON *NDVI*

ZHENG Yuan-Run and ZHOU Guang-Sheng

(Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Academia Sinica, Beijing 100093)

Abstract A net primary productivity (*NPP*) model of forest vegetation in China is presented based on *LAI* and *NDVI* whereby:

$$NPP = -0.6394 - 67.064 \ln(1 - NDVI)$$

This model was established to simulate the *NPP* of forest vegetation in China according to a comparison of forecasted with observed forest *NPP* data for spruce forest, pine forest, evergreen broad-leaved forest, deciduous and evergreen broad-leaved forest, mixed coniferous broad-leaved forest etc. Correspondence with observed data was good. Based on a comparison of the simulated data with the Chikugo and Synthetic Models (Zhou & Zhang, 1996) and with the new model, shows the latter gives better results from the Chikugo and Synthetic models at a general level. This suggests that the new model based on *NDVI* is suitable to Chinese forest vegetation, and that it can be used to monitor and forecast the dynamics of *NPP* in Chinese forest vegetation.

Key words Forest vegetation, *NPP* model, *NDVI*

全球气候变化及其对人类赖以生存的陆地生态系统的影响不仅已成为全世界生态环境科学研究的焦点,而且已引起各国政府的高度重视(GCTE Core Project Office, 1993; 张新时等, 1994; 韩纯儒, 1994; Steffen *et al.*, 1992)。全球变化的研究涉及学科面广,它不但促进了植被-气候关系向微观与宏观方向更深入的研究,且向其它相关学科提出更高要求,刺激了数学理论方法、计算机及航天技术的不断更新。因此,它已成为不断扩张的项目与新学科的生长点。

近年来,反常气候的出现对人类生存质量造成了巨大影响,促使人们不断寻求应对的策略,以求缓解全球变化带来的不利影响。我国幅员广大,气候复杂多样,自然灾害频繁,研究全球变化的规律更具有特殊的意义。植被净第一性生产力,以其对人类生存的重要性及其对全球变化的敏感性,已成为全球变化研究的重要内容。目前已发展了许多植被净第一性生产力模型,其中比较重要的有:迈阿密(Miami)模型、桑斯威特(Thorntwaite Memorial)模型、筑后(Chikugo)模型和综合模型(周广胜等, 1996)。但这

收稿日期:1998-03-18 修订日期:1998-07-15

基金项目:国家自然科学基金重点项目资助(编号:39730110及49835001)

些模型都是基于常规气候资料建立的,模型某些参数的测定比较困难,有些采用经验公式,降低了模型的准确性,更重要的是常规气候资料的获得周期长,自动化及实时处理的能力差,从而限制了它在全球变化实时监测及预测中的作用。卫星遥感具有丰富的信息及实时数据处理与传输能力,作为全球变化研究新的信息源已引起人们极大的注意力。面对日趋明显的全球变化及其产生的后果,以遥感数据作为信息源的植被净第一性生产力研究将会显出愈来愈大的优越性。

本文拟探讨 NOAA 极轨气象卫星归一化植被指数(NDVI)与叶面积指数的关系,建立基于NDVI的中国天然森林植被净第一性生产力模型,以实现全球变化对陆地生态系统影响的快速监测与预测。

1 森林植被净第一性生产力模型的研究

NOAA 极轨气象卫星(风云一号极轨气象卫星)的 AVHRR 扫描辐射计 $0.58\sim 0.68\mu\text{m}$ 的可见光通道与 $0.725\sim 1.1\mu\text{m}$ 的近红外通道对植物叶子及其生长状况有很强的指示作用,而叶子的特征又与植被的净第一性生产力有极密切的关系,从而有可能用遥感信息进行植被净第一性生产力的研究。归一化植被指数(NDVI)是经可见光波段与近红外波段组合而成的数值,它对植物的长势、健康状况及光合作用的强弱反应灵敏,近年来在遥感与植被研究中得到广泛应用(肖乾广等,1996)。我国已有NDVI与净第一性生产力关系研究的报道(肖乾广等,1996),但文中的回归模型未进行验证,缺乏与其它模型比较研究,结论的可信度未得到充分证明。

本文研究中使用的归一化植被指数定义为:

$$NDVI = (CH_2 - CH_1) / (CH_2 + CH_1)$$

其中 CH_1 、 CH_2 分别表示 AVHRR 第一、第二通道的反射率。

遥感资料受云的影响很大。我国属于典型的季风气候区,夏季云很多,难于获得每天的晴空资料。本文采用文献(肖乾广等,1996)中的方法消除云及其它噪声的影响。

在卫星资料中,在一旬内取最大植被指数消除太阳高度角、卫星视角及云的影响。10d内取最大植被指数计算方法如下:

$$TNDVI = \max[NDVI(t)] (t=1, 2, 3, \dots, 10)$$

式中, t 代表天数,NDVI(t)是 t 天的植被指数,TNDVI是10d内最大的NDVI值。由于采用最大

值方法,在有云或大气混浊时NDVI很低,这种处理方法在多数情况下可以消除云的影响,但在夏季梅雨季节很难取得10d内的晴空数据。采用三点平滑方法滤去噪声,获得新的每旬的NTNDVI:

$$NTNDVI = \max$$

$$\left[\frac{TNDVI(N+1) + TNDVI(N-1)}{2}, TNDVI(N) \right]$$

式中, N 代表以10d为时间序列的序号,一年36个旬。再由新的NTNDVI计算出一年内NDVI的平均值,即:

$$ANDVI = \frac{1}{36} \sum_{i=1}^{36} NTNDVI(i)$$

式中,ANDVI为一年内NTNDVI的平均值,以ANDVI作为NDVI,探讨它与中国森林植被净第一性生产力的关系。

植被的净第一性生产力(NPP)与叶面积指数(LAI)有密切关系,而NDVI又能灵敏地反应叶面积指数的变化。经用我国云杉(*Picea asperata*)、华山松(*Pinus armandi*)、黄山松(*Pinus taiwanensis*)、高山松(*Pinus densata*)、红松(*Pinus koraiensis*)、柏木(*Cupressus funebris*)、山地杨桦林、常绿阔叶林、常绿-落叶阔叶林、硬叶常绿阔叶林典型分布区的叶面积指数(罗天祥,1996)、净第一性生产力及NDVI资料(引自中国卫星气象中心)研究得出如下关系:

$$LAI = -4.9332 - 86.2804 \ln(1 - NDVI) \quad (1)$$

由图1可见,叶面积指数与NDVI有十分密切的关系。

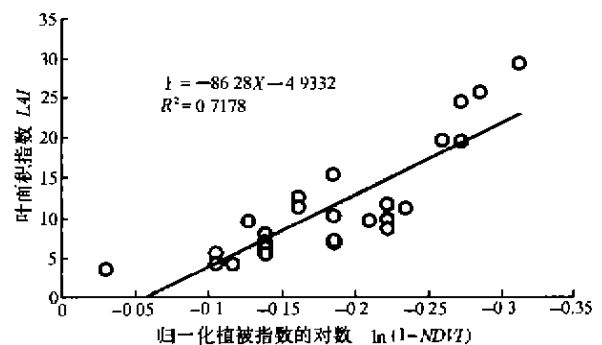


图1 叶面积指数与NDVI的关系

Fig. 1 Relationship between LAI and NDVI

由图2可见,NPP与LAI为十分紧密的线性关系:

$$NPP = 3.1951 + 0.7773LAI \quad (2)$$

由(1)、(2)二式可得:

$$NPP = -0.6394 - 67.064 \ln(1 - NDVI)$$

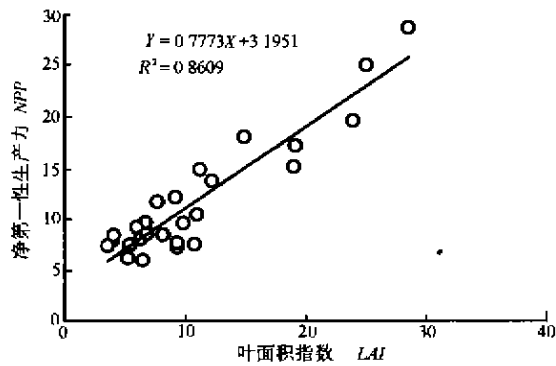


图 2 净第一性生产力与叶面积指数的关系

Fig. 2 Relationship between NPP and LAI

2 净第一性生产力模型的验证

为探讨公式的可靠性,采用13组我国森林净第一性生产力数据进行验证,并与 Chikugo 及周广胜、张新时模型的预测结果进行比较。Chikugo 模型计算方法如下:

$$NPP = 0.29 \exp(-0.216(RDI)^2) \cdot R_n$$

式中: NPP 为植被的净第一性生产力($t DW \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$), RDI 为辐射干燥度, R_n 为陆地表面所获得的净辐射量($kcal \cdot cm^{-2} \cdot a^{-1}$)。

周广胜等(1996)模型计算方法如下:

$$NPP = RDI \cdot \frac{rR_n(r^2 + R_n^2 + rR_n)}{(R_n + r)(R_n^2 + r^2)} \cdot \exp\{-\sqrt{9.87 + 6.25 \cdot RDI}\}$$

式中: R_n 与 r 的单位均为 mm , NPP 为自然植被的净第一性生产力($t DW \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)。

从表1、图3可见,Chikugo 模型、周广胜、张新时

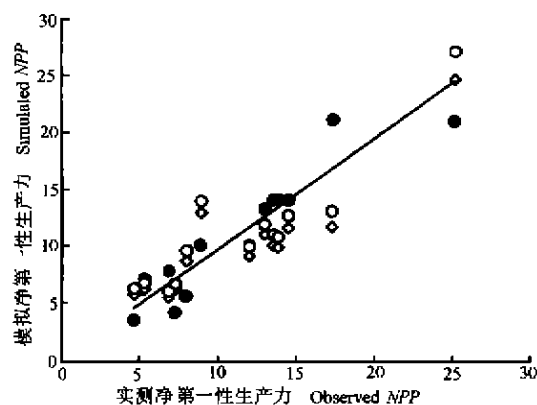


图 3 实测与采用不同模型模拟净第一性生产力的比较

Fig. 3 Comparison of simulated NPP by different models and observed NPP

● 新建模型 New model ◇ 周广胜与张新时模型 Zhou and Zhang model ○ Chikugo 模型 Chikugo model
— 实测值 Observed NPP

模型及新建模型均能较好地反应我国森林植被的净第一性生产力,新建模型在总体上优于前述两种模型。表明新建模型可用于估算我国森林植被的净第一性生产力,并可实现对我国森林植被净第一性生产力变化的动态监测与预测,从而更加有效地管理我国现有的森林资源。

表1 实测与采用不同模型模拟净第一性生产力的比较

Table 1 Comparison of simulated NPP by different models and observed NPP($t DW \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)

实测值 Observed NPP	新建模型 New model	周、张模型 Zhou and Zhang model	Chikugo 模型 Chikugo model
7.91	5.68	8.84	9.73
4.62	3.51	5.80	6.31
5.25	7.18	6.27	6.83
7.22	4.23	6.30	6.77
13.41	14.33	10.29	11.21
14.36	14.33	11.85	12.93
8.78	10.25	13.1	14.12
6.79	7.93	5.58	6.12
17.14	21.39	11.98	13.36
12.84	13.49	11.25	12.15
13.72	14.33	10.14	11.02
11.89	10.26	9.33	10.16
24.91	21.39	25.01	27.52

3 讨论

净第一性生产力可以反应植被结构与功能的变化,因而,植被净第一性生产力的研究一直受到许多学者的重视。利用 $NDVI$ 估算净第一性生产力具有方便快捷的优点,实现对各种植被的快速监测。目前我国各区域净第一性生产力的测定还存在部分空白,我国地形复杂多样,即使在同一地区,受局部小地形的影响,森林植被净第一性生产力水平仍有较大差异,从而降低了模型的精确度。在我国生产力测定精度与地区密度提高的情况下,利用 $NDVI$ 测定 NPP 将会显示出更大的优势。

参 考 文 献

- GCTE Core Project Office. 1994. GCTE Core Research. 1993. Annual Report. Report No. 1. Canberra Australia. 8~20.
Han, C. R. (韩纯儒). 1994. On global change and research in agricultural ecology. In: Zhang, X. S. (张新时) & Z. K. Lu (陆仲康) eds. Global change and ecosystem. Shanghai: Shanghai sciences and

- Technology press. 49~53 (in Chinese)
- Luo, T. X. (罗天祥). 1996. Patterns of net primary productivity for Chinese major forest types and its mathematical models. Ph.D. thesis. Beijing: Commission for Integrated Survey of Natural Resources, the Chinese Academy of Sciences.
- Steffen, L. B., B. H. Walker & J. S. I. Ingram. 1992. Global change and terrestrial ecosystem, the operational plan. Global Change Report 21, Stockholm, Sweden: IGBP Secretariat. 13~29.
- Xiao, Q. G. (肖乾广), W. Y. Chen (陈维英), Y. W. Sheng (盛永伟) & L. Guo (郭亮). 1996. Estimating the net primary productivity in China using meteorological satellite data. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 38(1): 35~39. (in Chinese)
- Zhang, X. S. (张新时) & Z. K. Lu (陆仲康). 1994. Global change and ecosystem. Shanghai: Shanghai Sciences and Technology Press. 62~95. (in Chinese)
- Zhou, G. S. (周广胜) & X. S. Zhang (张新时). 1996. Study on NPP of natural vegetation in China under global climate change. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 20(2): 113~119. (in Chinese)

责任编辑: 孙冬花