

## 植被净第一性生产力遥感过程模型研究

李世华<sup>1</sup>, 牛 铮<sup>1</sup>, 李壁成<sup>2,3</sup>

(1. 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100101;  
2. 中国科学院水利部水土保持研究所; 3. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100)

**摘 要:** NPP 模型现在已经发展到遥感过程模型时代。通过 3 种主要的遥感过程模型(CASA、BDM E- BGC 和 BEPS 模型)进行阐述和分析, 探讨了这几种模型的优势和主要存在的问题。

**关键词:** 净第一性生产力; 遥感过程模型; CASA; BDM E- BGC; BEPS

**中图分类号:** TP79; Q 142

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2005)03-0126-03

### Study on Remote Sensing Process Model of Vegetation NPP

LI Shi-hua<sup>1</sup>, NIU Zheng<sup>1</sup>, LI Bi-cheng<sup>2,3</sup>

(1. The State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications,  
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resource;

3. Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** NPP model has been developed the age of remote sensing process model. The main remote sensing process model (CASA, BDM E- BGC and BEPS model) are studied and discussed. The advantage and main problem of these models are discussed.

**Key words:** net primary productivity (NPP); remote sensing process model; CASA; BDM E- BGC; BEPS

植被的净第一性生产力(Net Primary Productivity, 简称 NPP)是指植物在单位时间单位面积上由光合作用产生的有机物质总量中扣除自养呼吸后的剩余部分<sup>[1]</sup>, 它是生态系统中物质与能量运转研究的基础, 直接反映植物群落在自然环境条件下的生产能力, 它在研究全球陆地 C 循环 C 存储和全球变化中有着重要的作用<sup>[2,3]</sup>。NPP 的研究方法很多, 但多以建立各种模型为主, 特别是对于区域或全球的尺度选择合适的参数, 建立合适的模型进行计算就成为研究 NPP 的一种重要而广泛的方法。通过遥感技术能够获取和反演地表植被信息和相关生物物理学参数, 使得适时、准确、大范围和多尺度监测 NPP 的空间分布状况成为可能<sup>[3,4]</sup>, 利用遥感和 GIS 技术进行大面积范围 NPP 研究成为一种全新的手段<sup>[5]</sup>。

#### 1 NPP 模型

自 20 世纪 60 年代的国际地圈与生物圈(International Geosphere-Biosphere Programme, IGBP)计划以来, 全球及区域 NPP 的大规模研究得到了很大的发展。在 20 世纪 70 年代初, 德国学者 Leith 首次估算出全球 NPP 值<sup>[6]</sup>。30 余年来,

NPP 研究经历了站点实测、统计回归及模型估算研究等阶段。而在模型估算研究中, 遥感数据的引进已经成为一个重要的发展方向<sup>[7-9]</sup>。我国于 20 世纪 80 年代开始修正国外的模型计算了全国的 NPP。到现在为止, 计算 NPP 的模型总共有 20 多种, Ruimy 等将这些模型概括为统计模型、参数模型和过程模型 3 种<sup>[10]</sup>。统计模型也称为气候相关模型, 以 Miami 模型, Thornthwaite Memorial 等模型为代表。统计模型是利用气候因子(温度、降水等)来估算植被净第一性生产力, 因此大部分统计模型估算的结果是潜在植被生产力。参数模型主要由植被吸收的光合有效辐射和光能转化率 2 个因子来表示植被净第一性生产力。过程模型主要是在参数模型的基础上加上温度、水分、养分等参数来计算植被净第一性生产力, 其代表模型有 CASA 模型、TEM 模型、BDM E- BGC 模型、BEPS 模型等。这类模型基于机理研究, 因此在大尺度植被净第一性生产力研究和全球 C 循环研究中被广泛应用。

目前, 已有大量的景观区域尺度的过程模型针对不同生态系统进行 NPP 模拟, 这些模型的时间步长不一、空间分辨率不等。虽然这些模型可用来模拟生产力, 但其中大部分模型

收稿日期: 2004-12-28

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G2000077902); 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-01-02); 国家自然科学基金资助项目(40271086); 国家“十五”重大科技攻关课题(2001BA606A-4)

作者简介: 李世华(1977-), 男, 在读博士, 从事全球变化遥感方面的研究。

不是仅为NPP 模拟而特意建立的。根据模型中是否使用遥感数据将这些模型分为遥感过程模型和非遥感过程模型。1999年, W. Cramer 和 C. B. Field 等科学家在德国 Potsdam 的会议上对 17 个全球尺度的NPP 模型进行了相互比较, 其中以光能利用率模型和过程模型为主, 这些模型从不同的角度入手, 利用不同的方法进行模拟, 每个模型都有其独到之处。模型大多综合了碳、水和元素循环来模拟生态系统行为<sup>[11, 12]</sup>。

## 2 遥感过程模型

随着遥感 GIS 和计算机技术的发展, 遥感技术被逐步引入NPP 模型计算中, 使得NPP 的计算免去了许多繁杂的实验工作, 并可进行区域性计算。在 3 种模型中, 过程模型的理论框架完整, 结构严谨, 但其本身比较复杂, 涉及众多参数, 且有些参数不易获得, 这也是过程模型发展中的一个限制条件。近年来, 遥感和 GIS 技术的支持为过程模型注入了新的活力使得遥感过程模型成为当前NPP 模型研究的主攻方向<sup>[3]</sup>。

在众多的模型中通过遥感技术手段数据进行NPP 研究的主要有: CASA 模型 B DME- BGC 模型和 BEPS 模型等。

### 2.1 CASA 模型

CASA 模型是 1993 年 Potter 等建立的基于光能利用率的陆地植被净第一性生产力全球估算<sup>[13]</sup>。该模型主要由植被吸收的光合有效辐射(A PAR)和光能转化率( $\epsilon$ )两个变量确定。

$$NPP(x, t) = A PAR(x, t) \times \epsilon(x, t) \quad (1)$$

式中:  $t$ ——时间,  $x$ ——空间位置。

A PAR 取决于太阳总辐射和植被对光合有效辐射的吸收比例(FPAR), FPAR 可以由归一化植被指数(NDVI)和植被类型两个因子表示,  $\epsilon$ 是指植被把所吸收的光合有效辐射(A PAR)转化为有机碳的效率, 主要受温度和水分的影响。

CASA 模型充分考虑了环境条件和植被本身特征, 但在参数确定和求算过程细节存在一定的不足,  $\epsilon$ 的取值对NPP 估算结果影响很大<sup>[14]</sup>。

### 2.2 B DME- BGC 模型

Bioeme- BGC 是研究全球和区域气候、干扰和生物地球化学循环间互作的陆地生物地球化学过程模型<sup>[15]</sup>。所有的植被参数是通过常规生态生理方法测得, 在大量观测数据的基础上, 该模型针对全球研究提出了一套标准参数集。涉及的参数包括生物量分配参数、光合作用参数、气孔导度和气孔控制参数、光和降水截留参数、植物碳氮比、易流失物质(labile)、纤维素(cellulose)和木质素含量(lignin)。

### 2.3 BEPS 模型

BEPS 模型是在 FOREST- BGC 模型的基础上完善发展起来的基于遥感数据的生态系统过程模型<sup>[16]</sup>。与其他的生态过程模型相比 BEPS 模型成功地解决了利用遥感数据时生态过程模型中时间和空间尺度转换的难题<sup>[17]</sup>, 以及来自不同数据源的不同类型数据(遥感数据、GIS 数据和气象观测数据等)的兼容问题, 并且融合了先进的树冠传输模型 LAI 来描述树冠的构造, 从而解决了当使用准确的太阳辐射量数据 FOREST- BGC 模型大推定的问题<sup>[18]</sup>。

在 BEPS 模型里, 每天的 NPP 是通过每天的植被总

生产力(GPP)和植被的自养呼吸( $R_a$ )求差来计算的:

$$NPP = GPP - R_a \quad (2)$$

利用 BEPS 模型计算 NPP 所需要的输入数据主要有: 土地覆盖类型、叶面积指数、土壤可持水量和气候数据。在这些输入数据中 LAI 是连接遥感数据和生态过程模型的关键变量, 可以从 NDVI 数据中推出, 一般可采用传统或改进的 NDVI-LAI 算法。NDVI 是衡量植物叶绿素和能量吸收的尺度, 可以直接从遥感数据中获得。土地覆盖分类图用来确定 NDVI-LAI 关系式的系数和设定模型的初始参数。BEPS 模型中需要输入的气象数据有日最高气温、日最低气温、日辐射量、降雨量和比湿。这些气象因子是影响土壤-植物-大气系统间的碳、水传输过程中的主要环境因子。土壤可持水量数据可以通过遥感方法或当地土壤质地图推算得出。这些数据的精度都将直接影响 NPP 的推算精度。

## 3 讨论

遥感过程模型在研究大面积 NPP 具有很大的优势, 大多数数据可以通过遥感影像获得。但目前的模型也存在一些需要解决的问题。

### 3.1 数据获取与精度

遥感过程模型所需要的数据主要有: 植被类型、气候数据、土壤质地数据。植被类型数据可以利用 NOAA/AVHRR、MODIS 等数据通过分类的方法确定, 气候数据主要通过各地实测数据进行内差或利用气象卫星数据, 土壤质地数据可以通过土壤调查数据分析得出。现在国内存在的情况是数据严重不足, 特别是早期的数据, 主要表现在: 气候观测站过少而且比较分散, 数据没有完整性, 早期数据太少或者遭到破坏。

数据精度对 NPP 结果有着重要的影响, 日本国立环境研究所的松下文经等人对 BEPS 模型进行了修正计算出了北海道的 NPP 数值, 并讨论了利用不同精度数据推算 NPP 的精度问题。他们利用日本气象学会(JWA)北海道分会编制的 1 km 网格气象数据(高精度)和美国大气研究中心(NCAR)的气象数据通过线性插值重采样为 1 km 网格的粗分辨率数据做比较, 当土地类型和气象数据的精度都较低时, 误差为 16.7%, 只有气象数据精度较低时误差为 39.7%, 该结果表明利用过程模型推算 NPP 时高质量数据的重要性<sup>[18-20]</sup>。

### 3.2 模型适宜性

植被 NPP 过程模型大多是针对北美地区而建立的, 如 CASA 模型、B DME- BGC 模型是美国建立的, BEPS 模型是加拿大建立的。世界上各个地方差异很大, 这些模型参数是否对中国有效, 如何修改将是一个很大的难题。国内已经有很多人通过修改这些模型应用于中国并计算出了 NPP。朴世龙等利用 CASA 模型估算了我国 1997 年植被净第一性生产量为 1.95 PgC<sup>[14]</sup>, 约是世界陆地植被净第一性生产力的 4.0%; 我国植被净第一性生产力的主要分布趋势是从东南沿海向西北逐渐减小; 其中海南岛南部、云南西南部、青藏高原东南部的热带雨林和季雨林地区植被年净第一性生产力最大达 900 gC/(m<sup>2</sup>·a)以上, 而西部塔克拉玛干沙漠

地区植被年净第一性生产力最小,不足  $10 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ <sup>[14]</sup>。另外还有很多人计算了中国植被净第一性生产力,具体数值有一定的偏差,这主要是所选年份不同、选取模型不同造成。到底哪个模型最适合中国现在尚无明确结论。

### 3.3 模型精度和验证

由于这些模型都是计算大面积范围的 NPP,模型的精度检验和验证将是一个很重要的问题。目前模型验证大多是模型之间的结果互相比,没有一个比较合适的方法进行验证。这也是今后的一个重要研究方向。

## 4 结 语

CASA、B DME- BGC 和 BEPS 模型都能够比较好的计

### 参考文献:

- [1] Leith H, Whittaker R H. Primary Productivity of the Biosphere[M]. New York: Springer-Verlag Press, 1975
- [2] 陈利军, 刘高焕, 励惠国. 中国植被净第一性生产力遥感动态监测[J]. 遥感学报, 2002, 6(2): 129- 135
- [3] 冯险峰, 刘高焕, 陈述彭, 等. 陆地生态系统净第一性生产力过程模型研究综述[J]. 自然资源学报, 2004, 19(3): 369- 378
- [4] Liu J, Chen J M, et al. Net Primary Productivity Mapped for Canada at 1- km resolution[J]. Globe Ecol Biogeogr, 2002, 11: 1- 15- 129
- [5] 陈利军, 刘高焕, 冯险峰. 遥感在植被净第一性生产力研究中的应用[J]. 生态学杂志, 2002, 21(2): 53- 57
- [6] Leith H, Whittaker R H. Modeling the primary productivity of the world[A]. Primary Productivity of the Biosphere [M]. New York: Springer-Verlag, 1975
- [7] Sellers, P J, D A Randall, G J Collatz, et al. A revised land surface parameterization (SB2) for atmospheric GCMs Part I: Model formulation[J]. Journal of Climate, 1996, 9: 676- 705
- [8] Sellers, P J, Los, S O, Tucker, C J, et al. A revised land surface parameterization (SB2) for atmospheric GCMs Part II: The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from satellite data[J]. J. Climate, 1996, 9: 706- 737
- [9] Prince, S D, Goward, S N. Global primary production: a remote sensing approach[J]. Journal of Biogeography, 1995, 22: 815- 835
- [10] Ruimy, A, Soubrier. Methodology for the estimation of terrestrial net primary productivity from remotely sensed data [J]. Journal of Geophysical Research, 1994, 99: 5263- 5283
- [11] Cramer W, C B Field. Comparing global models of terrestrial net Primary Productivity (NPP): Introduction[J]. Globe Change Biol, 1999, 5(S1): III
- [12] Cramer W, Kicklighter D W, et al. Comparing global models of terrestrial net Primary Productivity (NPP): overview and key results[J]. Globe Change Biol, 1999, 5(S1): 1- 15
- [13] Potter C S, J T Randerson, C B Field, et al. Terrestrial ecosystem production: a process model based on globe satellite and surface data[J]. Globe Biogeochemical Cycle, 1993, 7: 811- 841
- [14] 朴世龙, 方精云, 郭庆华. 利用 CASA 模型估算我国植被净第一性生产力[J]. 植物生态学报, 2001, 25(5): 603- 6080
- [15] Michael A White, Peter E Thornton, Steven W Running, et al. Parameterization and Sensitivity Analysis of the B DME - BGC Terrestrial Ecosystem Model: Net Primary Production Controls[J]. Earth Interactions, 2000, 4: 1- 85
- [16] Liu J, Chen J M, Cihlar J, et al. A process-based boreal ecosystem productivity simulator using remote sensing inputs [J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 62: 158- 175
- [17] J M Chen, J L Iua, J Cihlar, et al. Daily canopy photosynthesis model through temporal and spatial scaling for remote sensing applications [J]. Ecological Modelling, 1999, 124: 99- 119
- [18] 松下文经, 杨翠芬, 陈晋, 等. 广域空间尺度上植被净初级生产力的精确推算[J]. 地理学报, 2004, 59(1): 80- 87
- [19] Bunkei Matsushita, Ming Xu, Jin Chen, et al. Estimation of regional net primary productivity (NPP) using a process-based ecosystem model: How important is the accuracy of climate data[J]. Ecological Modelling, 2004, 178: 371- 388
- [20] Bunkei Matsushita, Masayuki Tamura. Integrating remotely sensed data with an ecosystem model to estimate net primary productivity in East Asia [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 81: 58- 66

算区域乃至全球的植被 NPP,但各自也存在着一定的不足。利用遥感过程模型研究 NPP 将是一个重大的趋势,对于不同的区域不同的尺度采用合适的参数和模型将是以后研究的主要方向。我国地域辽阔,有多种气候和环境特征,建立适合全国范围的 NPP 遥感过程模型难度很大,模型验证也比较困难,这就需要引入一些国外比较成熟的模型进行修正适合我国的情况,同时建立具有自主知识产权并适合计算我国植被的 NPP 模型。