

基于 SPA 模型的森林生态系统净初级生产力空间分布

王绍刚^{1,2}, 刘志文^{2,3}

1. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049

3. 中国科学院电子学研究所, 北京 100190

摘要 森林生态系统净初级生产力(NPP)是森林生态系统碳循环的原动力,是陆地森林生态系统碳循环的重要组成部分,它代表了森林生态系统固定大气中 CO₂ 的能力,对森林生态系统能否降低大气 CO₂ 浓度及抑制全球变暖趋势的评估起着重要作用。根据英国爱丁堡大学的森林生态系统碳循环 SPA 模型的特点,以遥感信息数据作为主要的数据源,将该模型从斑块尺度模型到区域尺度模型进行扩展,并以数据并行技术作为解决模型扩展后计算时间过长的手段,建立新的森林生态系统碳循环动态过程模型 RSPA,利用该模型对福建省三明市尤溪县 2007 年森林生态系统 NPP 进行模拟与验证。结果表明,2007 年尤溪县森林生态系统 NPP 值季节变化空间分布明显,其 6-9 月是森林植被生长旺盛的季节,NPP 出现增长峰值,而其他月份则 NPP 值相对较小。在森林植被固碳能力方面是阔叶林>竹林>杉木林>马尾松林。

关键词 森林生态系统;碳循环;SPA 模型;碳收支

中图分类号 Q948,X82

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)01-0082-08

NPP Spatial Distribution of Forest Ecosystem Based on SPA Model

WANG Shaogang^{1,2}, LIU Zhiwen^{2,3}

1. *Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*

3. *Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China*

Abstract The forest ecosystem Net Primary Productivity (NPP) is the driving force for the forest ecosystem carbon cycle and an important component in the terrestrial forest ecosystems carbon cycle, because it represents the capacity of the forest ecosystem to fix CO₂ in the atmosphere. NPP plays a significant role in assessing whether the concentration of CO₂ can be reduced in the atmosphere and the biosphere can be protected against global warming or not. Based on the British Edinburgh University's forest ecosystem carbon cycle SPA (Soil-Plant-Atmosphere) model, and using the remote sensing data as a major source of the data to expand the model from a patch model to a region model, this paper presents a new forest ecosystem carbon cycle dynamic process RSPA (Region Soil-Plant-Atmosphere) model, with the aid of the data parallel computing and the cluster technology as a solution to the excessively long computing time due to the model expansion. This model is used to simulate and verify the NPP of the forest ecosystem in Youxi County, Sanming City, Fujian Province in 2007. The results show clearly the NPP seasonal spatial distribution variation of Youxi County forest ecosystem in 2007. Its forest cover plants grow during the exuberant season from June to September, where the NPP provides the growth peak value, but other months' NPP values are relatively small. With respect to the forest cover plant solid carbon ability, we have: the broad-leaved forest > bamboo > Chinese fir > pine forest.

Keywords forest ecosystem; carbon cycle; soil-plant-atmosphere model; carbon budget

收稿日期: 2009-09-11

作者简介: 王绍刚, 博士研究生, 研究方向为森林碳循环遥感应用, 电子信箱: sgwang@ceode.ac.cn

0 引言

自工业革命以来,以“全球变暖”为标志的全球变化已经成为当今国际社会关注的焦点。全球变暖的主要原因是大气中 CO_2 浓度的增加,而森林作为陆地生态系统的主体,与其他陆地生态系统类型相比,森林分布面积大约占全球陆地面积的 $1/3$,约为 $4.1 \times 10^9 \text{hm}^2$,其中郁闭森林约为 22%,据资料统计全球陆地总碳库约为 1800PgC,其中森林生态系统碳蓄积量可达 77%,森林地上植被碳库约占地球总碳库的 86%,而森林光合与呼吸作用与大气之间的年碳交换量高达陆地生态系统年碳交换量的 90%^[1]。森林作为陆地生态系统最大的碳库,在碳蓄积方面的增减都会对全球的 CO_2 浓度带来剧烈的变化。由此可见,森林生态系统的碳循环和碳蓄积调控着全球陆地生态系统的碳循环。

随着对森林生态系统结构、功能和生态生理过程认识的不断加深,以及遥感、地理信息系统和计算机技术的不断发展,森林生态系统碳循环模型方法成为森林生态系统碳循环研究的主流。森林碳循环模型按空间尺度可分为斑块尺度的森林碳循环模型和区域尺度的陆地碳循环模型。本研究在这对两大类模型对比分析的基础上,利用英国爱丁堡大学 Williams 等提出的斑块尺度森林碳循环模型 (Soil-Plant-Atmosphere, SPA)^[2-7],以遥感数据为主,其他数据资料为辅等多源数据,将该模型从空间尺度上进行扩展,并利用集群遥感图像并行技术解决扩展后模型计算量大、计算时间过长的缺点,基于上述条件建立新的森林生态系统碳循环模型 (Region Soil-Plant-Atmosphere, RSPA),通过该模型对 2007 年三明市尤溪县的森林生态系统多种森林植被的净初级生产力 (Net Primary Productivity, NPP) 做出评估、预测与模型结果验证。

1 SPA 模型

SPA 模型是植被冠层尺度生理生态学的过程模型^[2],它是以光合作用—气孔导度—蒸腾作用耦合模型为基础,涉及生理、生化和物理等机理方法,结合了生态学、植物生理学、气象学和水文学等多种自然科学方法来模拟森林的呼吸作用、光合作用、水量平衡、碳的分配之间的关系。在该模型中,植被的冠层被分为若干层次,并且规定植被之间的能量传输必须通过冠层,其冠层层是具有垂直结构的,不同垂直高度上的植被生理生态学特性都不相同。它是通过逐层计算各个通量,最后累加成冠层水平通量。SPA 模型根据植被的生理、物理过程分为两个大的子模块:物理子模块主要包括冠层辐射传输、叶片边界层传导、地表能量平衡、土壤水热传输、根系水吸收等子模块;生理模块包括呼吸作用、光合作用、气孔导度、植被水力等子模块(图 1)。SPA 通过对各个子模块模拟循环耦合来进行森林生态系统生产力的模拟与预测,该循环的关键过程如碳循环、水循环和氮循环过程的生物地球化学过程,主要包括冠层截流、蒸发、植被蒸腾、光合作用、生长和维持呼吸作用、碳在地上与地下器官中的分配、凋落、分解以及氮硝化过程。可

以分析斑块研究区内森林生态系统的总第一性生产力 (Gross Primary Productivity, GPP)、蒸腾 (Evapotranspiration, ET) 的季节与年际变化,从而研究气候变化对森林生态系统的影响。目前,这类植被冠层尺度生理生态学过程模型已成为森林生态系统碳循环模型的核心之一^[3]。

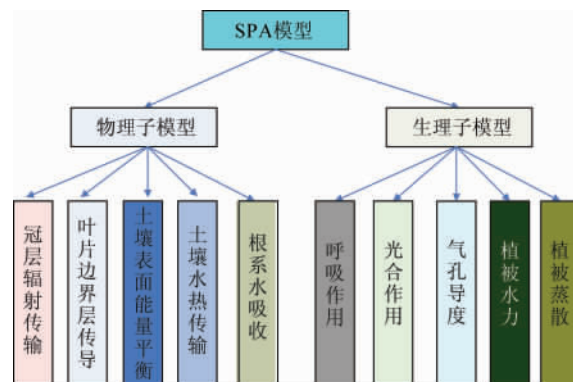


图 1 SPA 模型框架

Fig. 1 Framework of SPA model

1) 由于植被的物质和能量传输必须通过其冠层,而冠层内微气象条件具有明显的垂直分布特点,因此对于森林等高大的植物,层次的意义更加重要。在 SPA 模型中规定森林植被的物质与能量传输必须通过冠层,在森林植被冠层内部具有垂直结构,并且根据需要划分为 10~20 层,在不同冠层内部的垂直高度上的森林植被生理生态学特性各有不同,通过逐层计算各层的通量,最后累计叠加成冠层尺度水平的总通量^[2](图 2)。

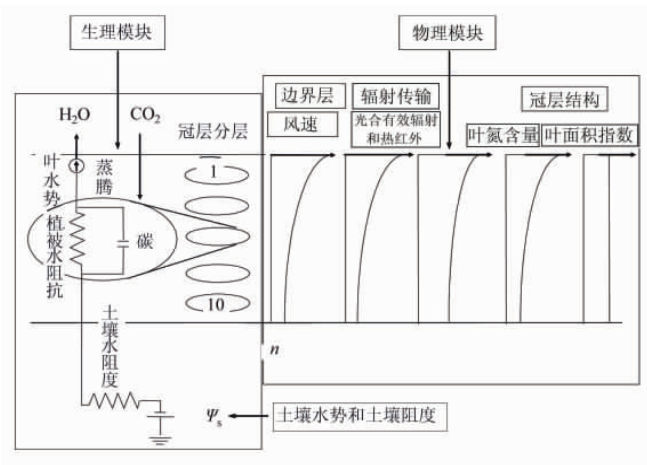


图 2 SPA 模型各个模块之间的关系

Fig. 2 Relationship between different modules in SPA model

2) SPA 模型中区分阳生叶和阴生叶的冠层辐射传输模块,分别输出阳生叶和阴生叶的叶面积及接收的太阳辐射。

3) 土壤水分平衡估计,包括计算降雨、雪水、林冠截留、蒸散、和径流。ET 在给定空气动力学阻力条件下用 Penman-Monieith 方程计算。



表 2 SPA 模型驱动因子和主要参数
Table 2 Main parameters of SPA model

驱动变量	数据来源和计算方法
气温/℃	气象站点
空气相对湿度/%	气象站点
风速/m	气象站点
太阳短波辐射/(MJ·m ⁻² ·d ⁻¹)	模型计算
降水量/mm	气象站点
LAI	MODIS 计算得到
土地覆盖类型	MODIS 分类
植被生物量/(t·hm ⁻²)	文献统计
田间持水量/(V/V)	土壤质地图
地理纬度/(°)	模型计算

表 3 尤溪县主要土壤类型质地状况
Table 3 Main soil types in Youxi County

土壤类型	沙粒/%	粉粒/%	黏粒/%	土壤面积/%
红壤	40.0	24.4	35.4	79.43
黄壤	50.2	25.2	24.6	19.46
南方水稻土	35.4	36.7	27.9	1.1

表 4 尤溪县 4 种森林类型 LAI 简要状况
Table 4 Four types of forest LAI in Youxi County

	马尾松林	杉木林	竹林	阔叶林
最高月均值	5.43	5.71	5.77	6.13
最低月均值	3.09	3.27	3.38	3.72
全年均值	4.25	4.62	4.75	5.38

表 5 马尾松、杉木林和常绿阔叶林的生物量(单位:t/hm²)
Table 5 Masson pine, fir and evergreen broad-leaved forest biomass

	幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林	平均生物量
马尾松林	81.26	132.38	337.70	334.86	426.07	110.74
样地数	265	52	16	9	4	
杉木林	42.01	90.15	98.56	123.67	292.19	109.19
样地数	50	234	78	79	41	
常绿阔叶林	126.53	194.74	259.14	323.04	581.29	179.41
样地数	363	213	64	53	8	

表 6 中国森林植被生物量不同数据来源间的比较(单位:t/hm²)
Table 6 A comparison of biomass of forest vegetation among different data sources

植被类型	第 4 次清查计算生物量	第 3 次清查计算生物量	冯宗炜生物量	第 4 次清查部分样点生物量
绿针	83.424	75.408	214.79	159.3956
落针	97.703	102.601	132.58	159.1285
针阔	81.999	95.809	276.22	186.8049
绿阔	64.644	74.853	251.46	312.1715
落阔	77.923	79.382	115.92	106.9026

3.3 森林植被生物量

在模型中计算森林植被自养呼吸时需要各种森林植被自身生物量数据,对于福建省 4 种类型森林生物量的计算,利用文献统计资料、实验观测数据、叶面积指数数据和全国森林资源统计相结合的方法,分别估算这 4 种森林植被类型的生物量。主要利用可知参数建立其和生物量之间的关系,其中 LAI 和植被指数是常用的两个参数。采用 Bonan 等^[8]研究的森林生物量与年均 LAI 之间函数关系来估算

$$Bio=AX+BX^2 \quad (1)$$

其中, Bio 为地上生物量(kg/m^2), X 为年均叶面积指数, A 、 B 为系数,因植被类型而有差异。对 A 、 B 值的确定,除参考 Bonan 的计算公式外,还借助已有的研究生物量文献资料进行调整和验证。为确定福建省 4 种森林类型,本研究利用中国多年来森林定位点的观测和实验资料进行验证,主要包括:① 罗天祥^[15]对近千个 17 种类型的实测资料(表 5);② 冯宗炜^[16]总结分析的中国 20 世纪 60 年代以来的森林生态系统生物量资料(表 6~表 7);③ 中国第 3、4 次森林普查资料;④ 文献中对这 4 种森林类型的生物量资料(表 7)。经式(1)统计计算,福建省 4 种植被类型的生物量统计如下:马尾松约为 $98.32\text{t}/\text{hm}^2$,杉木林约为 $103.53\text{t}/\text{hm}^2$,阔叶林的生物量约为 $141.68\text{t}/\text{hm}^2$;竹林的生物量实测资料较少,按平均每株 $22.5\text{kg}/\text{株}$ 计算,大约估算为 $79.23\text{t}/\text{hm}^2$ 。上述结果通过与表 5、表 6、表 7 中的森林类型生物量结果对比,其基本差别不大,可以应用于模型输入参数。

3.4 修改后模型的并行化改造

将 SPA 模型从一个斑块模型变成一个区域模型后,由于图像数据的种类繁多,并且需要计算的参数量增加。随之带来的是模型计算量增大和计算时间过长。为了解决这些问



表 7 干、枝、叶、根生物量分配比例

Table 7 The biomass allocation ratios of trunk, branch, leaf and root

植被类型	生物量/(t·hm ⁻²)	NPP(t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	树干/%	树皮/%	枝/%	叶/%	果实/%	根/%
绿针	212.80	6.63	52.91	8.29	15.80	8.46	0.43	15.07
落针	132.90	5.87	62.00	8.32	15.07	3.23	—	18.94
针阔	265.78	—	48.30		12.10	6.70	0.40	24.47
绿阔	199.63	14.41	56.37	8.04	16.66	5.31	15.55	21.92
落阔	84.13	5.83	43.61	11.90	23.32	6.43	—	25.27

题,本研究对模型算法进行基于集群的并行化改造。选用 N 节点的集群系统,每一个节点是配置完全相同 PC 或者工作站,节点间通过交换机相连,点对点的通讯速度一致(图 6)。网络硬件负责在机群各节点间通过互连网络收发各种数据,通信软件在机群各节点之间提供了一个快捷、可靠的通讯手段^[14]。本研究中的 SPA 模型并行化主要是对图像数据并行为主,功能并行为辅的并行模型方法,将图像数据采用在空间上进行均匀分块的方法,每个节点得到输入参数遥感图像的一块数据,这里选择节点 0 作为主节点,负责图像处理任务的分发、接收以及结果的提交,并且通过它控制整个机群系统协调完成提交的功能任务,在每个从节点上只负责完成主节点分配的計算任务而且没有控制功能,这样可将这些节点看作主节点计算资源的一部分。利用上述方法可实现对 SPA 模型计算加速的目的。

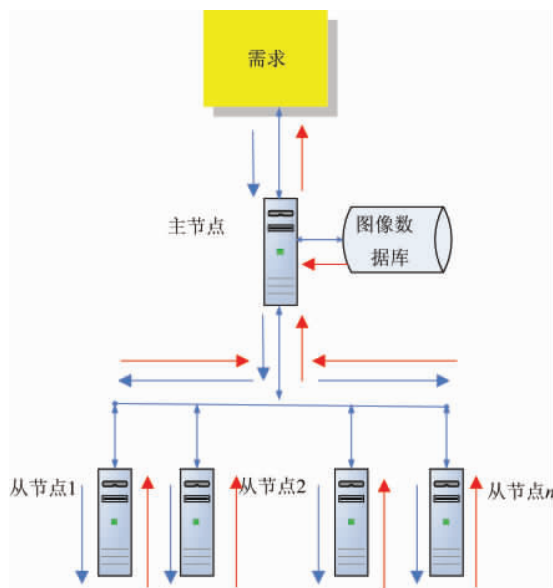


图 6 图像数据分布模式
Fig. 6 Image data pattern

本研究建立了新的区域森林生态系统碳循环 RSPA 模型,该模型是利用 Fortran 语言编写、Linux 系统环境下,基于 Cluster 集群遥感图像并行设计,利用 MPI 进行并行编程的平台,并且对福建省三明市尤溪县 2007 年森林生态系统的 NPP 结果作可视化表达。

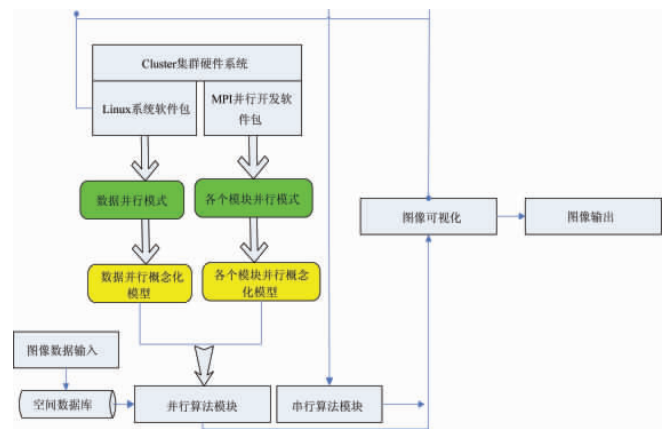


图 7 基于 Cluster 的 SPA 模型并行设计
Fig. 7 Parallel computing design of SPA model based on cluster

4 RSPA 模型分析与验证

RSPA 模型的输出结果为 2007 年三明市尤溪县森林生态系统的 NPP 空间分布模拟(图 8),从图 8 可看出,由于三明市尤溪县处于亚热带季风气候,森林植被均属于常绿植被其 NPP 的空间分布变化并没有北方森林植被那么明显,但是其在季节方面还是存在着很大变化。尤溪县森林 1、2 月的 NPP 的值大部分都在 25~50gC/(m²·mon)之间,这说明森林植被生长都很缓慢。3、4 月内随着太阳辐射增强、温度的升高森林植被的 NPP 值开始逐渐升高,均在 50~75gC/(m²·mon)之间,这说明森林植被的光合作用在 3、4 月有所增强。5、6、7 月森林植被生长旺盛,与良好的水热条件关系很大,其 NPP 值可以达到 75gC/(m²·mon)以上。其中 8 月的森林生态系统 NPP 值达到了顶峰,在 6、7、8、9 月中的 NPP 值对比 5 月份的 NPP 最大值反而有所减少,这是由于这些月份均处于雨季,雨量的增多是植被的光合作用减少,而高温致也使植被的气孔导度减小,光合作用减弱,但是这个季节的植被自养呼吸较强,最终导致 NPP 值的减小。10、11、12 月森林植被生长缓慢,一般值都在 75gC/(m²·mon)以下,主要原因是太阳辐射减少,温度降低。RSPA 模型计算的 GPP 空间分布与 NPP 空间分布相类似,尤溪县森林生态系统 2007 年的 GPP 均值为 1582.31gC/(m²·a),NPP 均值为 879.23gC/(m²·a);就不同的植被类型而



图 8 2007 年 RSPA 模型尤溪县森林生态系统 NPP 空间分布(单位: $\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{mon})$)

Fig. 8 The NPP spatial distribution map of RSPA model of Youxi County forest ecosystem in 2007

言, 其 NPP 均值分别为: 马尾松 $685.12\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 杉木林 $713.15\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 竹林 $1121.15\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 阔叶林 $1167.46\text{gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。全年不同植被类型单位面积 NPP 均值和 GPP 均值的大小依次为: 阔叶林>竹林>杉木林>马尾松林。其中马尾松的

面积最大,但是相对其他植被而言,其固碳能力最弱,而竹林面积较小,但是固碳能力最强。

本研究主要从比较不同森林碳循环模型对福建区域森林生态系统的模拟结果,做总体方面的验证。利用福州大学

空间数据挖掘与信息共享教育部重点实验室提供的加拿大陈镜明 BEPS 模型^[9]计算的尤溪县森林生态系统的 NPP 数据(验证数据图 9)。由于 BEPS 模型计算过程中没有对森林植被进行分类,所以本研究利用植被分类图将该结果进行森林植被生产力分类(图像的分辨率相同)。所以在本研究中 BEPS 模型计算尤溪县森林生态系统年 GPP 均值为 1518.21gC/(m²·a),NPP 均值为 932.75gC/(m²·a),其中马尾松 NPP 均 763.48gC/(m²·a);杉木林 NPP 均值 841.98gC/(m²·a);竹林 NPP 均值 1194.92gC/(m²·a);阔叶林 NPP 均值 1421.12gC/(m²·a)。从 RSPA 模型和 BEPS 模型的对比可以发现,BEPS 模型计算的 GPP 和 NPP 值要比 RSPA 模型的计算值偏大,这是由于模型机理和输入参数不同导致的结果。但两者相差值并不大并且均在误差范围之内。为了更加精确验证 RSPA 模型结果的可靠性,本研究对福建地区森林生产力的研究成果进行了对比与分析,可以看出,本研究结果比史军^[10]、陶波等^[11]的研究结果小,比冯险峰^[18]、赵敏^[13]、李贵才^[12]的结果大(表 8),出现偏差的原因可能由于输入的数据的精度、研究年份、研究对象以及模型之间的差异造成,基本处于合理范围。

表 8 不同模型对福建森林 NPP 的模拟数值
(单位:gC/(m²·a))

Table 8 Different models of numerical
simulation for Fujian forest NPP

研究对象	所用模型	研究年代	年均 NPP	研究者
陆地生态系统	CASA	1981—2000	599	李贵才 ^[12]
森林生态系统	Century		650	赵敏 ^[13]
福建人工林	GLO-PEM	1979—2007	876~913	史军 ^[10]
陆地生态系统	CEVSA	1981—2000	770~914	陶波 ^[11]
陆地生态系统	BEPS-China	2001	764	冯险峰 ^[18]

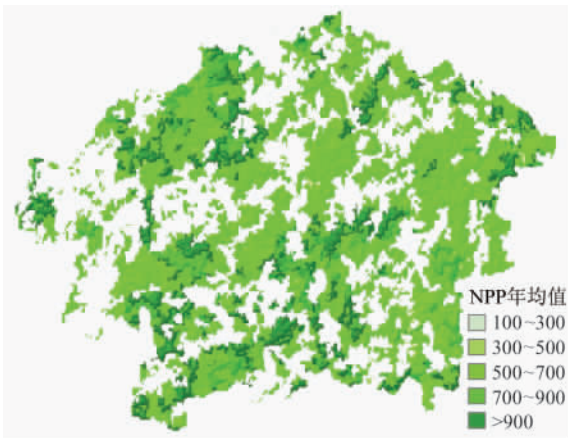


图 9 2007 年 BEPS 模型尤溪县 NPP 分布
(单位:gC/(m²·a))
Fig. 9 NPP distribution map of BEPS model of
Youxi County in 2007

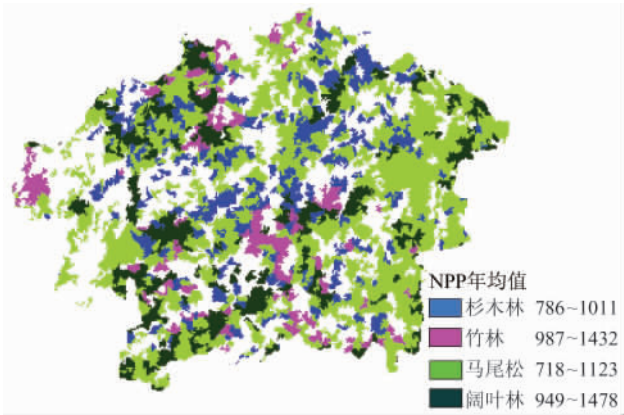


图 10 RSPA 模型尤溪县 NPP 分布(单位:gC/(m²·a))
Fig. 10 NPP distribution map of RSPA
model of Youxi County

5 结论

本研究根据尤溪县森林生态系统复杂多样的特点和数据种类繁多的情况,改进了 SPA 模型以用于该县森林生态系统的生产力和蒸散模拟。模型主要是以遥感数据为数据源,其他数据为辅,并根据遥感图像数据并行原理、利用现有的软件和硬件设施解决扩展后的模型计算量过大、耗时间过长的缺点,将 SPA 模型从一个只能计算斑块尺度的单一森林植被类型的森林生态系统碳循环模型,转变成为能够计算区域尺度的森林生态系统碳循环 RSPA 模型,并使修改后的模型适合尤溪县地形、环境与森林植被特点模拟估算的森林生态系统碳循环模型,利用该模型对 2007 年尤溪县森林生态系统 NPP 进行了空间分布模拟。虽然尤溪县地处亚热带地区,植被一年四季均可生长,但是 NPP 季节性变化还是很明显的,其中在 6—9 月的时间段期间,由于处于夏季,太阳辐射丰富,水热条件优良,出现了森林植被的 NPP 峰值,但是其峰值的最大值却比 5 月的 NPP 最大值要小,这是因为在这几个月的森林植被呼吸量增大和雨量过多影响植被光合作用所致。其他月份的 NPP 值较小,说明森林植被生长缓慢,主要是由于太阳辐射减小、温度降低所导致森林植被光合作用减少。从尤溪县的森林种类的固碳量来说是阔叶林>竹林>杉木林>马尾松林,其中以竹林的固碳能力最强。与前人 NPP 资料的对比及对本模拟结果进行的验证分析表明,RSPA 模型的模拟结果基本合理,只要输入数据条件满足即可应用于区域森林生态系统生产力模拟研究。

参考文献 (References)

[1] Falkowski P, Scholes R J, Boyle E, *et al.* The global carbon cycle: A test of our knowledge of Eearth as a system[J]. *Science*, 2000, 290: 291-296.
[2] Williams M, Rastetter E B, Fernandes D N, *et al.* Modelling the soil-plant-atmosphere continuum in a Quercus-Acer stand at Harvard Forest: The regulation of stomatal conductance by light, nitrogen and soil/plant hydraulic properties[J]. *Plant, Cell and Environment*, 1996, 19: 911-927.



- [3] Williams M, Rastetter E B, Fernandes D N, *et al.* Predicting gross primary productivity in terrestrial ecosystems[J]. *Ecological Applications*, 1997, 7: 882-894.
- [4] Williams M, Malhi Y, Nobre A, *et al.* Seasonal variation in net carbon exchange and evapotranspiration in a Brazilian rain forest: a modelling analysis[J]. *Plant, Cell and Environment*, 1998, 21: 953-968.
- [5] Williams M, Rastetter E B. Vegetation characteristics and primary productivity along an arctic transect: implications for scaling up [J]. *Journal of Ecology*, 1999, 87: 885-898.
- [6] Chen J M, Liu J, Cihlar J, *et al.* Daily canopy photosynthesis model through temporal and spatial scaling for remote sensing applications[J]. *Ecological Modeling*, 1999, 124: 99-119.
- [7] Farquhar G D, Vammerer S.von, Berry J A. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C3 plants [J]. *Planta*, 1980, 147: 78-90.
- [8] Bonan G B, Levis S, Sitch S, *et al.* A dynamic global vegetation model for use with climate models: Concepts and description of simulated vegetation dynamics[J]. *Global Change Biology*, 2003, 9: 1543-1566.
- [9] 王绍刚, 何国金, 刘定生, 等. 森林碳循环模型方法研究进展 [J]. 科技导报, 2008, 26(9): 72-77.
Wang Shaogang, He Guojin, Liu Dingsheng, *et al.* *Science & Technology Review*, 2008, 26(9): 72-77.
- [10] 史军. 造林对中国陆地碳循环影响研究[D]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2005.
Shi Jun. Afforestation to Chinese land carbon cycle influence research [D]. Beijing: Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, 2005.
- [11] 陶波. 中国陆地生态系统净初级生产力与净生态系统生产力模拟研究[D]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2003.
Tao Bo. Chinese land ecosystem net primary productivity and net ecosystem productivity simulation study [D]. Beijing: Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, 2003.
- [12] 李贵才. 基于 MODIS 数据和光能利用率模型的中国陆地净初级生产力估算研究[D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2004.
Li Guicai. Estimation of Chinese terrestrial net primary production using LUE model and MODIS data [D]. Beijing: Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, 2004.
- [13] 赵敏. 中国主要森林生态系统碳储量和碳收支评估[D]. 北京: 中国科学院植物研究所, 2004.
Zhao Min. Study on carbon storage and balance of Chinese main forest ecosystem [D]. Beijing: Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, 2004.
- [14] 陈国良, 吴俊敏, 章峰, 等. 并行计算机体系结构[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
Chen Guoliang, Wu Junmin, Zhang feng, *et al.* Parallel computer architecture[M]. Beijing: Higher Education Press, 2002.
- [15] 尤溪县志编纂委员会编. 尤溪县志 [M]. 福州: 福建省地图出版社, 1989.
Youxi Gazetteer Compiled Committees. Youxi County [M]. Fuzhou: Fujian Cartographic Publishing Press, 1989.
- [16] 罗天祥. 中国主要森林类型生物生产力格局及其数学模型 [D]. 中国科学院自然资源综合考察委员会, 1996.
Luo Tianxiang. Patterns of net primary productivity for Chinese major forest types and their mathematical models[D]. Commission for Integrated Survey of Nature Resources, Chinese Academy of Sciences and State Planning Commission, 1996.
- [17] 冯宗炜. 中国森林生态系统的生物量和生产力 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.
Feng Zongwei. Chinese forest ecosystem biomass and productivity[M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [18] 冯险峰. 基于过程的中国陆地生态系统生产力和蒸散遥感研究[D]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2004.
Feng Xianfeng. Simulating net primary productivity and evapotranspiration of terrestrial ecosystems in China using a process model driven by remote sensing[D]. Beijing: Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, 2004.

(责任编辑 岳臣)

·学术动态·

“2010 年亚洲地理信息系统国际学术研讨会 (ASGIS 2010)”征文

由重庆计算机学会、韩国信息处理协会、日本地理信息系统协会主办的“第八届亚洲国家 GIS 国际学术研讨会 (ASGIS 2010)”, 将于 2010 年 4 月 22—24 日在重庆邮电大学召开。

征文范围: 空间和时空数据处理; 基于位置的服务; 移动 GIS; 三维和虚拟 GIS; GIS 与普适计算; 电子标签与普适传感网络; 软件工程方法; 空间推理; 遥感数据处理; 栅格和矢量数据管理; 大规模 GIS 服务器和并行 GIS; GIS 和空间数据可视化; 数据挖掘与知识发现; 决策支持系统。

论文提交至: asgis@cqupt.edu.cn, 全文截稿日期: 2010 年 2 月 25 日, 论文录用通知日期: 2010 年 3 月 10 日。

联系电话: 023-62461581。

