

2009 年武汉市植被净初级生产力估算

张 娜¹ 毛飞跃¹ 龚 威¹

(1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,武汉市珞喻路 129 号,430079)

摘 要:利用 CASA 模型,结合实测的光合有效辐射(PAR)数据、MODIS 归一化植被指数(NDVI)和 Land Cover 数据、气象数据等资料,估算了 2009 年武汉市的植被净初级生产力(NPP)。结果显示,武汉市的植被平均单位面积年 NPP 产量达到 $464.19 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。6、7、8 三个月 NPP 积累值最高,占全年的 56.8%;12、1、2 三个月 NPP 值最低,仅占 5.6%。黄陂区由于林地较广,NPP 值较大,在 $1\,000 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 以上;而城市周边由于植被覆盖面积较小,NPP 值较低,在 $400 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 以下。

关键词:净初级生产力(NPP);CASA 模型;光合有效辐射;归一化植被指数

中图法分类号:P237.9

随着全球碳循环和气候变化研究的不断深入,NPP 作为大气圈和生物圈之间的碳通量指标,受到学者们越来越多的重视^[1-5]。CASA 模型^[5]是由植物所吸收的光合有效辐射和光能利用率来估算 NPP,该模型充分考虑了环境条件和植被本身特征,精度较高,使用较广泛。然而它是针对北美地区建立的,因此,在其他区域的应用中,其模型参数是否有效及如何修改是一个难题^[3]。国内很多学者已经尝试过修改 CASA 参数以计算得到我国的 NPP^[6-8]。其中,对于华中地区的相关研究开展得较少,而武汉市是华中地区“8+1”城市圈的中心城市。因此,本文以 CASA 模型为基础,采用实地测量的 PAR,引入 MODIS 计算 PAR 吸收比例算法,以及水分、温度等胁迫因子估算方法,来估算武汉市 2009 年的植被 NPP,并分析了其全年分布情况。

1 原理和方法

1.1 NPP 的总体估算模型

本文以 CASA 模型为基础,根据植物吸收的光合有效辐射(APAR)和实际光能转化率(ϵ)两个关键因子估算 NPP,时间步长选择为月,具体公式为^[8]:

$$\text{NPP}(x, t) = \text{APAR}(x, t) \times \epsilon(x, t) \quad (1)$$

式中, t 表示时间; x 表示空间位置; $\text{APAR}(x, t)$ 表示像元 x 在 t 月份吸收的 PAR; $\epsilon(x, t)$ 表示像元 x 在 t 月份的实际光能利用率。其中,APAR 是由光合有效辐射吸收系数 FPAR 以及实际所接收到的 PAR 所决定的。

本文采用的 PAR 数据是仪器实测获得的,而 FPAR 则根究其与 NDVI 存在的线性关系,采用 NASA-MOD15 提供的 FPAR 与 NDVI 的关系式^[9]来推算得到。本文根据文献^[10]研究的结果来选择最大光能利用率,引入文献^[6]对水分胁迫因子的估算方法,计算得到植被的实际光能利用率,由此最终估算得到植被的 NPP。

1.2 数据来源和预处理

本文以武汉市植被为研究对象,所使用的数据包括 MODIS 的 NDVI 和 Land Cover 数据、武汉市的 PAR、降雨量和温度等气象数据以及武汉市的行政边界图。

在数据预处理时,需要将 NDVI 数据和 Land Cover 数据重采样成相同分辨率的数据,使其与行政边界图投影一致,并进行剪裁。NDVI 数据采用的是 MODIS 16 d 序列的数据,为了避免云的影响,在使用前需要将 NDVI 数据进行最大值合成,以生成每月的 NDVI 数据。

PAR 则采用实测的光合有效数据,实测数据中间由于某些原因缺失的 PAR 数据,则通过太

阳总辐射与 PAR 的关系得到。很多学者在使用 CASA 模型时,使用式(2)来计算 PAR^[6, 10]:

$$PAR = SOL(x, t) \times 0.5 \tag{2}$$

式中, $SOL(x, t)$ 表示像元 x 在 t 月份吸收的太阳总辐射;0.5 表示 PAR 约占太阳总辐射的一半。实际上,植被能够利用的太阳有效辐射一般低于太阳总辐射的一半。因此,本文将实测的 PAR 与太阳总辐射进行拟合,以修正原有模型。修正的拟合公式如式(3)所示:

$$PAR = SOL(x, t) \times 0.4 + 2.9 \tag{3}$$

2 结果与讨论

2.1 武汉市 APAR 的时空分布

武汉市属于亚热带季风气候,常年雨量充沛,四季分明,因此,四季太阳辐射差别也比较分明。表 1 为武汉市 2009 年各月 PAR 总和列表,从表 1 中可以看出,2009 年每个月的 PAR 总和差别较大。相应地,2009 年武汉市的 APAR 从 1 月到 7 月先逐渐升高,从 7 月到 12 月再逐渐降低。7 月明显高于其他月份,2 月明显偏低于前后两个月,这是由 2009 年 2 月降雨量较大、阴天较多引起的。

表 1 武汉市 2009 年各月 PAR 总和/
(MJ · m⁻² · month⁻¹)

Tab. 1 Monthly Sum of PAR of Wuhan in 2009/(MJ · m⁻² · month⁻¹)

月份	1	2	3	4	5	6
PAR	107.68	60.00	132.83	160.14	189.06	215.18
月份	7	8	9	10	11	12
PAR	253.29	234.24	178.65	133.23	106.22	77.57

植被所吸收的光合有效辐射量取决于太阳总辐射量和植物本身特征两方面因素^[10]。因此,植被所吸收的光合有效辐射还同植被本身有很大关系。从图 1 中可以看出,落叶阔叶林的 PAR 吸收能力最大,其次是常绿阔叶林,耕地的 PAR 吸收能力也比较大,而常绿针叶林和落叶针叶林在 6 种植被中 PAR 的吸收能力最小。图 1 中,A 表示落叶阔叶林,B 表示常绿阔叶林,C 表示耕地,D 表示灌木丛,E 表示常绿针叶林,F 表示落叶针叶林,G 表示武汉市各植被的平均 APAR。

图 2 为武汉市 2009 年 APAR 的空间分布图。从图中可以看出,武汉市中心城区因建筑较集中,植被覆盖较少,APAR 仅在 700 MJ · m⁻² · a⁻¹ 以下,中心城区边缘地带的 APAR 大致在 700~800 MJ · m⁻² · a⁻¹ 之间。武汉市大部分面

积的植被覆盖类型为耕地,因此,APAR 大致比较均匀,在 1 100 MJ · m⁻² · a⁻¹ 左右;而黄陂地区由于林地面积较广,多为落叶阔叶林和常绿针叶林的混交林,水热充足,因此,APAR 较高,在 1 500 MJ · m⁻² · a⁻¹ 以上。

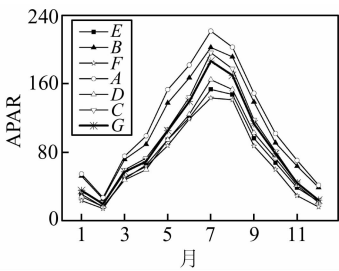


图 1 不同植被 APAR 月际变化

Fig. 1 Monthly Change of Different Vegetation APAR

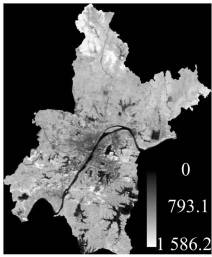


图 2 武汉市 2009 年 APAR 分布图/(MJ · m⁻² · a⁻¹)

Fig. 2 APAR Distribution of Wuhan in 2009
(MJ · m⁻² · a⁻¹)

2.2 武汉市 NPP 的时空分布

NPP 由于受到太阳辐射以及温度、水分等胁迫因子的影响,在各个季节差别较大。从图 3 可以看出,NPP 的月际变化曲线和图 1 的 APAR 月际变化曲线大致相同。这是由于武汉地区水分充足,水分胁迫因素较小,特别是夏季水热充足,因此,NPP 主要受太阳辐射的影响。图 3 的曲线变化趋势表明,NPP 的积累期主要在 6、7、8 三个月,通过计算可得这三个月所积累的 NPP 占全年 NPP 总量的 56.8%。而 12、1、2 月由于温度和太阳辐射都达到全年的最低值,这三个月的 NPP 积累值最低,仅占全年 NPP 总量的 5.6%。一年之中,7 月 NPP 最高,达 101.73 gC · m⁻²,其他几个月则以 7 月为中心,呈对称分布。

不同植被,其积累 NPP 的能力也不同。从图 3 中可以看出,常绿阔叶林和落叶阔叶林的 NPP 最高,其次是落叶针叶林、常绿针叶林,灌木、耕地的 NPP 最低。这跟 APAR 以及最大光能利用率有很大的关系。常绿阔叶林的最大光能利用率最大,所吸收的 PAR 又仅次于落叶阔叶林,因此其积累的 NPP 最大;而落叶阔叶林与针叶林的光能

利用率差别较小,但 APAR 远高于针叶林,因此其积累的 NPP 也比较高。针叶林由于有比较高的光能利用率,故其 NPP 高于灌木以及耕地。

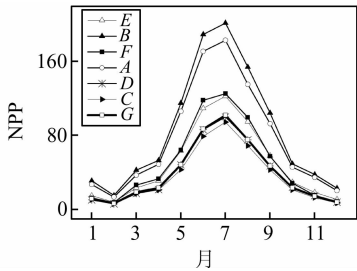


图 3 不同植被 NPP 的月际变化

Fig. 3 Monthly Change of Different Vegetation NPP

将 2009 各月武汉市 NPP 分布图进行累加得到武汉市 NPP 的 2009 年累积分布图(见图 4)。从图 4 可以看出,NPP 的空间分布与植被覆盖类型有很大的关系。黄陂区以及新洲区的东南边缘地区由于有大面积的落叶林与针叶林的混交林,NPP 明显高于其他地区,达到 $1\,000\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 以上。水域周围亦有针叶、阔叶的混交林,NPP 多在 $700\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 左右。武汉地区的大部分面积为耕地,NPP 分布比较均匀,处于 $400\sim500\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 之间。城区周边地区,因植被覆盖率较低,NPP 在 $400\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 以下。武汉市植被平均单位面积 NPP 产量为 $464\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

2.3 NPP 模拟结果的比较

将本文 NPP 模拟结果与其他学者的 NPP 模

表 2 本文方法 NPP 模拟值与其他模型模拟值的比较/($\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)

Tab. 2 Contrast Between NPP Values Simulated by the Proposed Method and Other Models /($\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)

	文献[11]	文献[6]	文献[12]	文献[13]	文献[14]	本文模型
常绿阔叶林	873	985.8	971.9	945	$1\,445\pm380$	1 014.3
落叶阔叶林	624	642.9	459.7	928		913.4
常绿针叶林	486	367.1	529.4	587		582.4
落叶针叶林	345	438.8	419.9	585		595.5
灌木	648	367.7				458.1
耕地	606	426.5				422.7

3 结 语

1) 2009 年,武汉市的植被平均单位面积 NPP 产量达到 $464.19\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。6、7、8 三个月 NPP 积累值最高,占全年的 56.8%,12、1、2 三个月 NPP 值最低,仅占 5.6%。黄陂地区由于林地较广,NPP 值都最大,在 $1\,000\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 以上,城市周边由于植被覆盖面积较小,NPP 值最低,在 $400\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 以下。

2) 对于本文所模拟的 6 种植被类型,在光合有效辐射的吸收能力方面,落叶阔叶林>常绿阔

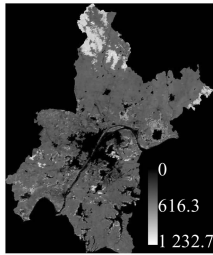


图 4 武汉市 2009 年 NPP 空间分布/($\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)

Fig. 4 NPP Spatial Distribution of Wuhan in 2009/ ($\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)

拟结果进行简单的比较,以检验本文模拟结果的合理性。表 2 为本文方法 NPP 的模拟结果与其他研究模拟值的比较。从表 2 中可以看出,不同植被的 NPP 模拟值差别较大,对于 4 种林木类型,本文结果都略大于其他研究结果。这是由于本文研究是以武汉地区的植被为研究对象,而其他研究(除文献[14]外)则是以全国植被为研究对象。由于武汉地区水热充足,适宜各种植被的生长,因此,其 NPP 值大于全国平均值。文献[14]对武汉市地区常绿阔叶林植被的 NPP 进行了计算,与本文的常绿阔叶林 NPP 的模拟值较为接近。由此可见,本文所模拟的 NPP 值较为合理,比较准确地反映了武汉市不同植被的 NPP 状况。因此,可以利用本文的 NPP 估算方法对武汉市甚至湖北省更长时间序列的 NPP 进行估算分析,得到 NPP 的长时间变化规律。

叶林>耕地>灌木>常绿针叶林>落叶针叶林;而在积累的 NPP 方面,常绿阔叶林>落叶阔叶林>落叶针叶林>常绿针叶林>灌木>耕地。

3) 本文所模拟的 NPP 比较准确地反映了武汉市不同植被的 NPP 状况。

参 考 文 献

[1] Hazarika M K, Yasuoka Y, Ito A, et al. Estimation of Net Primary Productivity by Integrating Remote Sensing Data with an Ecosystem Model[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 94 (3): 298-310

[2] Goetz S J, Prince S D. Modelling Terrestrial Carbon Exchange and Storage: Evidence and Implications of Functional Convergence in Light-Use Efficiency[J]. *Advances in Ecological Research*, 1999, 28: 57-92

[3] 李世华, 牛铮, 李壁成. 植被净第一性生产力遥感过程模型研究[J]. *水土保持研究*, 2005, 12(3): 126-128

[4] Wang W, Ichii K, Hashimoto H, et al. A Hierarchical Analysis of Terrestrial Ecosystem Model Biome-BGC: Equilibrium Analysis and Model Calibration[J]. *Ecological Modelling*, 2009, 220(17): 2 009-2 023

[5] Potter C S, Randerson J T, Field C B, et al. Terrestrial Ecosystem Production: a Process Model Based on Global Satellite and Surface Data[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1993, 7(4): 811-841

[6] 朱文泉, 潘耀忠, 张锦水. 中国陆地植被净初级生产力遥感估算[J]. *植物生态学报*, 2007, 31(3): 413-424

[7] 李刚, 辛晓平, 王道龙, 等. 改进 CASA 模型在内蒙古草地生产力估算中的应用[J]. *生态学杂志*, 2007, 26(12): 2 100-2 106

[8] 罗艳, 王春林. 基于 MODIS NDVI 的广东省陆地生态系统净初级生产力估算[J]. *生态环境学报*, 2009, 18(4): 1 467-1 471

[9] Myneni R B, Knyazikhin Y, Privette J L, et al. MODIS Leaf Area Index (LAI) and Fraction of Photosynthetically Active Radiation Absorbed by Vegetation (FPAR) Product (MOD15)[J]. *Algorithm Theoretical Basis Document*, 1999(1): 44-49

[10] 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): 603-608

[11] 陶波, 李克让, 邵雪梅, 等. 中国陆地净初级生产力时空特征模拟[J]. *地理学报*, 2003, 58(3): 372-380

[12] 孙睿, 朱启疆. 气候变化对中国陆地植被净第一性生产力影响的初步研究[J]. *遥感学报*, 2001, 5(1): 58-61

[13] 刘明亮. 中国土地利用/土地覆被变化与陆地生态系统植被碳库和生产力研究[D]. 武汉: 武汉大学 2001

[14] 岑雯, 张良培, 李平湘, 等. 植被净初级生产力的遥感模型在武汉地区的应用[J]. *遥感技术与应用*, 2008, 23(1): 12-16

第一作者简介: 张娜, 硕士生, 研究方向为光学遥感在农业中的应用。
E-mail: zhangna777na@163.com

Estimation of Net Primary Productivity of Vegetation of Wuhan in 2009

ZHANG Na¹ MAO Feiyue¹ GONG Wei¹

(1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: The net primary productivity of vegetation of Wuhan City in 2009 was estimated by the CASA model with measured photosynthetic active radiation data, normalized difference vegetation index and Land Cover data of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), as well as meteorological data etc. The results shows that the NPP of the unit area of vegetation is $464.19\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$. And, the accumulated NPP of June to August is 56.8% of the gross NPP of the full year, which is the highest compare to that of other months. On the contrary the accumulated NPP of December to February is 5.6% of the gross NPP, which is the lowest compare to that of other months. Further more, the gross NPP of Huangpi is larger than $1\,000\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ due to its large area of forest cover. Conversely, the gross NPP of peri-urban area is lower than $400\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ because of the shortage of vegetation cover.

Key words: NPP; CASA model; PAR; NDVI

About the first author: ZHANG Na, postgraduate, majors in application of optics remote sensing to agriculture.
E-mail: zhangna777na@163.com