

中国-东盟 1 km 分辨率植被净初级生产力数据集(2013)

高 帅, 柳钦火*, 康 峻, 赵 静, 李 静, 仲 波, 吴善龙, 彭菁菁

中国科学院遥感与数字地球研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100101

摘 要: 植被净初级生产力 (Net Primary Productivity, NPP) 能够反映植被固碳能力, 决定了进入陆地生态系统的初始物质和能量。针对植被净初级生产力产品生产, 基于光能利用率原理进行了组网遥感数据驱动的区域陆地生态系统生产力建模研究。在参数的选择上, 利用多种卫星数据获得的光合有效辐射、叶面积指数、温湿度数据等进行模型驱动, 同时利用过程模型优化模型参数, 从而基于卫星组网技术, 建立了完全基于卫星数据及相关产品、参数化模型与植物生理生态过程模型相结合的 NPP 生产算法, 在理论上提高了 NPP 产品的时间分辨率。同时, 在利用土地覆盖、生物量、时间序列 FPAR 及胁迫因子等数据产品的基础上, 形成了完全基于卫星组网和虚拟星座数据支持的全球 1 km 分辨率 NPP 产品生产技术, 并完成了数据产品生产技术和规范。为克服地面气温等参数获取的限制, 使用了 NECP (National Centers for Environmental Prediction) 再分析气温产品, 以 MODIS 植被分类产品 MOD12、以及共性产品如光合有效辐射、光合有效辐射吸收比、叶面积指数等作为驱动参数, 生产了中国-东盟区域 1 km/5 d 的 NPP 产品。数据结果经过与内蒙古大兴安岭根河生态定位研究站 (121°31'10.344"E, 50°54'0.032"N) 通量站实测数据比较, 两者具有较好的一致性。数据集采用 Sinusoidal Tile Grid 标准分幅, 共分 40 景, 每景覆盖的经纬度范围为 10°×10°, 以.tif 格式存储。该数据集的数据缩放系数为 0.01, 单位是 gC/m², 数据量为 7.83 GB (压缩为 1.84 GB)。

关键词: 中国-东盟; 植被净初级生产力; 光能利用率; 光有效辐射吸收比; 叶面积指数

DOI: 10.3974/geodp.2017.03.08

1 前言

在陆地生态系统中, 植被净初级生产力 (Net Primary Productivity, NPP) 指绿色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 (Gross Primary Productivity, GPP) 中扣除自养呼吸 (Autotrophic Respiration, Ra) 后的剩余部分^[1]。NPP作为陆地生态系统的水循环、养分循环和生物多样性变化的关键参数之一, 在预测未来大气CO₂和其它温室气体含量、认识大气圈与生物圈的相互作用等科学问题研究上发挥着重要作用, 在全球碳循环过程中扮演着很重要的角色, 同时, NPP直接反映了植物群落在自然环境条件下的生产能力, 是评价陆地生态系统可持续发展的一个重要生态指标^[2]。

收稿日期: 2015-06-03; 修订日期: 2015-09-15; 出版日期: 2017-09-25

基金项目: 中华人民共和国科学技术部 (2017YFA0603004, 2012AA12A304, 2012AA12A305, 2013AA12A301)

*通讯作者: 柳钦火 S-1647-2016, 中国科学院遥感与数字地球研究所遥感科学国家重点实验室, liuqh@radi.ac.cn
论文引用格式: 高帅, 柳钦火, 康峻等. 中国-东盟 1 km 分辨率植被净初级生产力数据集 (2013) [J]. 全球变化数据学报, 2017, 1(3): 303-308. DOI: 10.3974/geodp.2017.03.08.

数据集引用格式: 高帅, 柳钦火, 康峻等. 中国-东盟 2013 年 1 km 分辨率植被净初级生产力数据集 (2013) [DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2015. DOI:10.3974/geodb.2015.01.15.V1.

本数据集是在中华人民共和国科技部项目支持下完成的，主要目的是为克服单一数据源对高时间分辨率植被净初级生产力产品生产的影响，基于卫星组网技术提高全球化植被净初级生产力产品的时效性。在建模过程中，充分考虑利用卫星组网的各种数据及产品的互补性，摆脱单一数据源对NPP产品质量的影响，构建了适应于卫星组网的高时间分辨率植被净初级生产力模型，在理论上及应用上都可以达到全球尺度空间分辨率1 km时间分辨率为5天的时效性和计算精度。

中国与东盟1 km分辨率植被净初级生产力数据集^[3](1 km spatial resolution NPP product of China-Asean) 是中国-东盟区域遥感监测研究重要的成果产出，是中国-东盟区域环境监测时空分布格局重要的数据资源。本文给出该数据的详细信息和数据算法基本原理和数据可靠性论证。

2 数据集元数据简介

中国与东盟1 km分辨率植被净初级生产力数据集（MuSyQ-NPP-1km-2013）的名称、短名名称、作者、地理区域、数据年代、数据空间分辨率、数据出版与共享平台、数据共享政策等信息一并列于表1。

表 1 中国-东盟 1 km 分辨率植被净初级生产力数据集（2013）元数据简表

条目	描述
数据集名称	中国-东盟1 km分辨率植被净初级生产力数据集（2013）
数据集短名	MuSyQ-NPP-1km-2013
数据作者	高帅 Q-2484-2017, 中国科学院遥感与数字地球研究所, gaoshuai@radi.ac.cn 柳钦火 S-1647-2016, 中国科学院遥感与数字地球研究所, liuqh@radi.ac.cn 康峻 N-1268-2017, 中国科学院遥感与数字地球研究所, kangjun@pku.edu.cn 赵静 A-3272-2017, 中国科学院遥感与数字地球研究所, zhaojing1@radi.ac.cn 李静 R-7298-2016, 中国科学院遥感与数字地球研究所, lijing01@radi.ac.cn 仲波 L-4528-2016, 中国科学院遥感与数字地球研究所, zhongbo@radi.ac.cn 吴善龙 S-1572-2016, 中国科学院遥感与数字地球研究所, wsl0579@163.com 彭菁菁 S-1261-2016, 中国科学院遥感与数字地球研究所, rspeggy@163.com
地理区域	10°55'12"S-53°32'24"N, 73°37'12"E-141°0'36"E。包括中国、印度尼西亚、马来西亚、菲律宾、新加坡、泰国、文莱、越南、老挝、缅甸和柬埔寨
数据年代	2013年
空间分辨率	1 km
时间分辨率	5 d
数据格式	.tif
数据量	7.83 GB（压缩为1.84 GB）
数据集组成	数据集采用Sinusoidal Tile Grid标准分幅，共分40景，每景覆盖的经纬度范围为10°×10°，每景包括2013年的73个.tif文件
基金项目	中华人民共和国科学技术部（2017YFA0603004，2012AA12A304，2012AA12A305，2013AA12A301）
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101，中国科学院地理科学与资源研究所

续表

条目	描述
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据（中英文）、实体数据（中英文）和通过《全球变化数据学报》（中英文）发表的数据论文。其共享政策如下：（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报》（中英文）编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10%引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[4]

3 数据研发方法

3.1 算法原理

针对植被净初级生产力产品生产，基于光能利用率原理^[5-6]进行了组网遥感数据驱动的区域陆地生态系统生产力建模研究。在参数的选择上，利用多种卫星数据获得的光合有效辐射、叶面积指数、温湿度数据等进行模型驱动，同时利用过程模型优化模型参数，从而基于卫星组网技术，建立了完全基于卫星数据及相关产品、参数化模型与植物生理生态过程模型相结合的NPP生产算法，在理论上提高了NPP产品的时间分辨率。同时，在利用土地覆盖、生物量、时间序列FPAR及胁迫因子等数据产品的基础上，形成了完全基于卫星组网和虚拟星座数据支持的全球1 km分辨率NPP产品生产技术，并完成了数据产品生产技术和规范。

算法基本原理如下公式所述：

$$NPP = PAR \times FPAR \times \varepsilon^* \times f(w) \times f(t) - R_a$$

(1)

式中， PAR 是光合有效辐射，单位为 MJ/m^2 ； $FPAR$ 是植被层对入射光合有效辐射的吸收分量，无单位； ε^* 是最大光能利用率，单位为 gC/MJ ； $f(t)$ 是温度对光能利用率的影响因子，无单位； $f(w)$ 是水分对光能利用率的影响因子，无单位； R_a 是植被自养呼吸量，单位为 gC/m^2 。

3.2 技术路线

本研究项目基于卫星组网的1 km 尺度标准数据，利用各种遥感辐射产品、气象再分析数据及项目已有的各种产品，进行NPP光能利用率模型的驱动，并通过过程模型参数模拟，进行全球尺度1 km空间分辨率5天一次的NPP的计算，技术路线示于图1。在产品生产过程中，辐射数据利用本项目中提供的全球 PAR 计算的标准化算法及每天

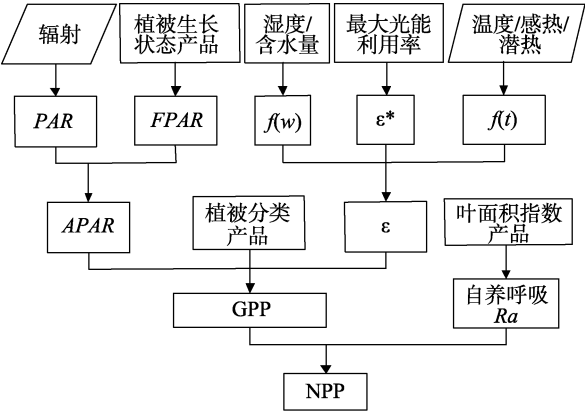


图1 全球植被净初级生产力生产技术路线图

的全球光合有效辐射产品，来合成项目需要的光合有效辐射。植被生长状态参数直接使用了项目提供的全球1 km分辨率5 d一次的*FPAR*产品。湿度、含水量对光能利用率的影响因素利用了植被水分指数，温度对光能利用率的影响使用了NECP再分析气温产品，自养呼吸消耗掉的光合作用同化的碳(*R_a*)根据植物地上部分生物量(Above-ground Biomass, kg/ha)用半经验公式计算^[7-8]。最大光能利用率基于BGC模型进行模拟，初始化为MOD17 NPP产品采用的取值^[9]。

4 数据结果与验证

模型算法的验证分为定性验证和定量验证两个部分，定性验证主要是模拟数据的方法，进行产品的试生产，测试模型算法是否能够按照时空分辨率等要求进行产品的生产，同时在得到输入数据后进行实际数据的生产，并与同类产品进行比较。定量验证是将真实数据输入的情况下，进行数据的生产，同时与地面实测数据，例如通量塔数据等进行比较。

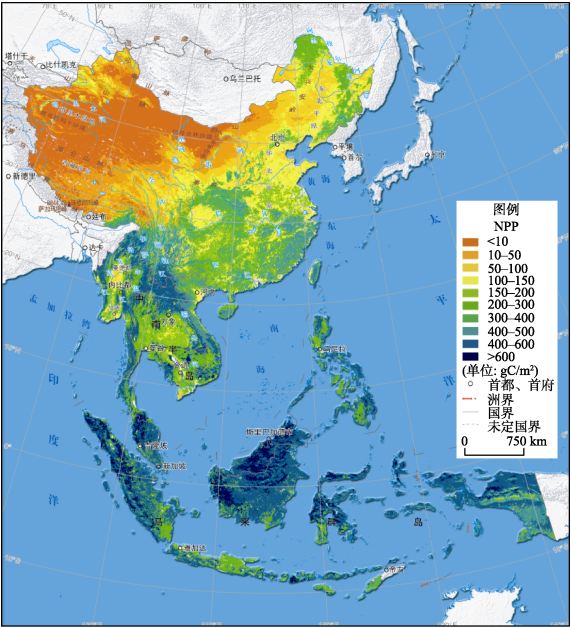


图 2 中国-东盟 2013 年植被净初级生产力空间分布图（审图号：GS(2015)1527 号）

4.1 数据结果

中国与东盟1 km分辨率植被净初级生产力数据集采用Sinusoidal Tile Grid标准分幅，共分40景，每景覆盖的经纬度范围为10°×10°，每景包括73个.tif文件，波段是每5天的植被生产力，单位是gC/m²，数据缩放系数为0.01。

中国-东盟2013年植被净初级生产力的空间分布见图2。NPP的分布具有东南高西北低的特点。位于赤道附近岛屿的NPP最高，其次是中南半岛和我国的东南部，我国西北部NPP最低。

图3显示了东南亚区域两种NPP产品在空间上的分布。空间趋势上，两者较为接近；但是数值上，MUSQ NPP产品低于MODIS NPP产品。MODIS NPP只有年值，而MUSQ NPP产品是5天的，因此MUSQ NPP能够表现出一年内的NPP变化。

4.2 数据验证

4.2.1 试验区概况

高时间分辨率 NPP 很难进行地面数据获取验证，因此在此次研究中使用通量数据作为模型的主要定量验证数据，通过其 GPP 的间接关系进行验证。选择的通量站位于内蒙古大兴安岭根河生态定位研究站（121°31'10.344"E；50°54'0.032"N）。根河生态定位研究站位于呼伦贝尔市的北部根河市，该地区覆盖范围为东经 120°12'至 122°55'，北纬 50°20'至 52°30'，

海拔在 784–1,142 m 之间，年均气温 $-5.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，最低气温 $-54\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，大于 10° 积温 $1,403\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，年降水量 450–550 mm，60%集中在 7–8 月，年均日照 2,594 小时，无霜期 80 天。森林类型为寒温带针叶林，主要树种为兴安落叶松。

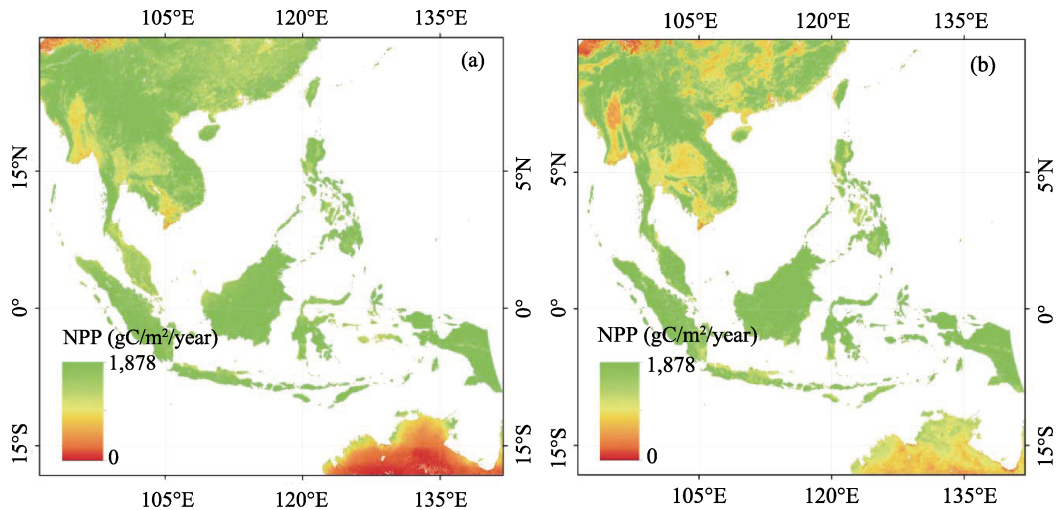


图 3 东南亚区域 MODIS NPP 产品 (a) 和 MUSQ NPP 产品 (b) 反演结果

4.2.2 试验数据

针对NPP产品生产时间范围，获取了同一时期根河生态定位研究站的通量数据进行验证（表2）。

表 2 根河生态定位站获取的台站观测数据列表

观测参数	仪器	时间段	间隔
反照率			
LAI	落叶采集框	2010–2015	每月 1 次
60 m 高塔：涡动相关数据（CO ₂ 通量、潜热通量、显热通量、Ustar）	EC 系统	建站起	半小时平均
60 m 高塔：自动气象站（雪深、各层温度、湿度；土壤温度、土壤湿度、土壤热通量；降雨量、辐射、风速、风向、蒸发皿数据）	AWS 系统	建站起	半小时平均
高塔 60 m 处：短波辐射和长波辐射；高塔 40 m 处：光合有效辐射；土壤水分，温度、湿度、风速。	CNR1， PAR-LITE	建站起	半个小时
站点立地条件：坐标、海拔、土壤质地、土壤深度			

同时，还从USGS的LP DAAC（The Land Processes Distributed Active Archive Center）的网站上下载2013年MOD17的8天合成GPP产品H25V03，与根据表1获取的通量站对应区域2013年全年时间连续的MODIS GPP产品进行比较。

4.2.3 产品验证

利用通量塔观测数据得到的 GPP 在 0–3 之间，而 MODIS 产品在该地区明显偏高，利用 MuSQ 产品的值略低于通量观测塔值，符合理论模型，同时其时间变化趋势与实测较为一致（图 4）。

5 讨论

针对NPP产品实效性差的实际问题，基于卫星组网特点进行了NPP模型的建模研究，同时利用卫星组网获取的光合有效辐射（PAR）、光合有效辐射比（FPAR）、叶面积指数（LAI）等数据结合植被的最大光能利用率模拟及其他数据进行了产品的试生产，经过与现有类似产品及地面观测数据比较，产品具有较好的时效性和计算精度，能够满足设计目标。同时，研究表明，需要进一步在更大范围进行产品的验证，从而提高模型精度，以利于全球空间分辨率1 km时间分辨率为5天产品的生产。

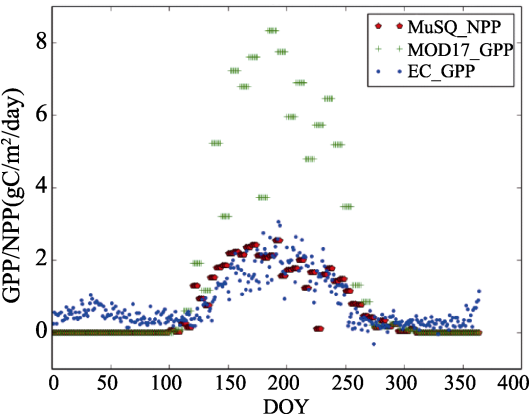


图 4 与通量塔观测数据对比分析

作者分工：柳钦火对数据集的开发做了总体设计；仲波，吴善龙，彭菁菁，李静采集和处理了数据；高帅设计了模型和算法并做了数据验证；康峻，赵静撰写了数据论文等。

参考文献

[1] Lieth, H. Primary production: Terrestrial ecosystems [J]. *Human Ecology*, 1973, 1: 303-332.

[2] Field, C., Behrenfeld, M., Randerson, J., et al. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components [J]. *Science*, 1998, 281: 237-240.

[3] 高帅, 柳钦火, 康峻等. 中国与东盟地区 2013 年 1 km 分辨率植被净初级生产力数据集[DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2015. DOI: 10.3974/geodb.2015.01.15.V1.

[4] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. DOI:10.3974/dp.policy.2014.05 (2017 年更新).

[5] Goetz, S., Prince S. Modeling terrestrial carbon exchange and storage: evidence and implications of functional convergence in light-use efficiency [J]. *Advances in ecological research*, 1999, 28: 57-92.

[6] Prince, S. D., Goward, S. N. Global primary production: a remote sensing approach [J]. *Journal of Biogeography*, 1995, 22: 815-835.

[7] Schubert, S. D., Rood, R. B., Pfaendtner, J. An assimilated dataset for earth-science applications [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1993, 74: 2331-2342.

[8] 李世华. 基于数据-模型融合方法植被初级生产力遥感监测研究[D]. 北京：中国科学院遥感应用研究所, 2007.

[9] Running, S., Nemani, R., Glassy, J., et al. MODIS daily photosynthesis (PSN) and annual net primary production (NPP) product (MOD17): algorithm theoretical basis document [R]. University of Montana, SCF At-Launch Algorithm ATBD Documents, 1999.