

国家生态屏障区 1-km 分辨率植被净初级生产力数据集 (2000–2015)

王晓峰^{1,2*}, 王 怡¹, 尹礼唱^{3,4}

1. 长安大学土地工程学院, 西安 710064; 2. 陕西省土地工程重点实验室, 西安 710064;
3. 中国科学院地理科学与自然资源研究所陆地表层格局与模拟院重点实验室, 北京 100101;
4. 中国科学院大学, 北京 100101

摘 要: 植被净初级生产力 (Net Primary Productivity, NPP) 作为生态系统物质及能量循环的基础, 能够反映区域和全球尺度植被的固碳能力, 是评价陆地生态系统质量的重要指标。针对植被净初级生产力产品的生产, 基于光能利用率模型的原理耦合遥感、气象、植被及土壤类型数据进行了国家生态屏障区生态系统生产力的建模研究。在参数的选择上, 由 MOD13A2 NDVI、中国植被图、太阳总辐射值及温湿度等数据计算出光合有效辐射 (APAR); 根据区域蒸散模型模拟水分胁迫因子, 与土壤水分子模型相比, 其能够简化参数, 增强模型的可操作性。将光合有效辐射和实际光能利用率作为 CASA 模型的输入变量, 基于参数化模型实现对国家生态屏障区 2000–2015 年 1-km 分辨率的陆地植被净初级生产力的估算。数据结果分别与 2000、2005、2010、2015 年的 MOD17A3 NPP 数据比较, 两者具有较好的一致性。数据格式为.tif, 单位是 gC m^{-2} , 投影坐标系为 WGS_1984_Albers, 空间分辨率为 1 km, 压缩后的数据量共计 53.8 MB。

关键词: 国家生态屏障区; 净初级生产力; 光能利用率; CASA 模型

DOI: 10.3974/geodp.2020.02.04

数据可用性声明:

本文关联数据已出版, 可获取: 王晓峰, 王怡, 尹礼唱. 中国国家生态屏障区 1-km 分辨率植被净初级生产力数据集 (2000–2015) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2020. DOI: 10.3974/geodb.2020.03.10.V1.

1 前言

在陆地生态系统中, 植被净初级生产力 (Net Primary Productivity, NPP) 指在单位时间和面积内绿色植物产生的有机干物质总量^[1], 即光合作用所吸收的碳和呼吸作用所释放的碳的差值^[2]。它是植物自身生物学特征与外界环境相互适应的结果, 是异养生物生存的物质和能量基础。作为陆地生态系统碳循环的核心参数^[3], 它不仅表征生态系统对碳的同化作用^[4], 而且是评价生态结构和功能稳定性的指标^[5], 同时也是判定生态系统碳源/汇和调节生态过程的主要因素^[6]。因此, 在全球气候变化的背景下, 各国学者都十分重视有关 NPP 的研究, 全球变化和陆地生态系统 (GCTE) 已将其确定为研究的核心内容之一^[7]。

收稿日期: 2020-01-30; 修订日期: 2020-05-30; 出版日期: 2020-06-25

基金项目: 中华人民共和国科学技术部 (2018YFC0507300, 2019QZKK0405); 陕西省科学技术厅 (2018JM4016)

*通讯作者: 王晓峰 AAS-5271-2020, 长安大学土地工程学院; 陕西省土地工程重点实验室, wangxf@chd.edu.cn

数据引用方式: [1] 王晓峰, 王怡, 尹礼唱. 国家生态屏障区 1-km 分辨率植被净初级生产力数据集 (2000–2015) [J]. 全球变化数据学报, 2020, 4(2): 125–130. DOI: 10.3974/geodp.2020.02.04.

[2] 王晓峰, 王怡, 尹礼唱. 中国国家生态屏障区 1-km 分辨率植被净初级生产力数据集 (2000–2015) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2020. DOI: 10.3974/geodb.2020.03.10.V1.

“两屏三带”生态屏障区是国家生态安全战略格局的重要组成部分。为响应政府在主体功能区划中提出的“两屏三带”国家生态安全屏障框架，傅伯杰等^[8]在保证县域完整性的基础上，描述了国家生态屏障区范围并开展了 2000–2010 年生态系统服务综合评估。本数据集是在国家重点研发计划的支持下完成的，主要目的是为构建国家屏障区 NPP 时间序列产品，开展屏障区生态系统服务权衡与协同的研究，确保人类权益和福祉。国家生态屏障区 1-km 分辨率植被净初级生产力数据集是屏障区生态系统服务科学中的重要产出成果，是该区域生态环境 NPP 演变监测评估、生态系统可持续发展的重要数字化资源。本文介绍该数据的详细信息和数据算法基本原理并进行数据精度验证。

2 数据集元数据简介

《中国国家生态屏障区 1-km 分辨率植被净初级生产力数据集（2000–2015）》^[9]的名称、短名、作者、地理区域、数据年代、时间和空间分辨率、数据格式、出版与共享服务平台、数据共享政策等信息一并列于表 1。

表 1 《中国国家生态屏障区 1-km 分辨率植被净初级生产力数据集（2000–2015）》元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	中国国家生态屏障区 1-km 分辨率植被净初级生产力数据集（2000–2015）
数据集短名	NBZ_NPP_1km_2000-2015
作者信息	王晓峰 AAS-5271-2020，长安大学土地工程学院；陕西省土地工程重点实验室，wangxf@chd.edu.cn 王怡 AAS-5036-2020，长安大学土地工程学院，wangyichangan134@163.com 尹礼唱 AAS-4914-2020，中国科学院地理科学与资源研究所陆地表层格局与模拟院重点实验室；中国科学院大学，yinlichang3064@163.com
地理区域	研究区域涉及的省份包括：黑龙江、吉林、青海、甘肃、四川、新疆、内蒙古、河北、辽宁、西藏、宁夏、云南、广西、广东、贵州、湖南、江西、山西 北方防沙带（36°45'N–45°06'N，75°50'E–124°18'E） 青藏高原生态屏障（29°40'N–38°10'N，82°50'E–105°5'E） 川滇-黄土高原生态屏障（24°10'N–38°50'N，99°05'E–114°25'E） 南方丘陵山地带（22°45'N–27°10'N，103°10'E–119°15'E） 东北森林带（40°52'N–53°34'N，118°48'E–134°22'E）
数据年代	2000–2015 时间分辨率 1 年
空间分辨率	1 km 数据格式 .tif
数据量	53.8 MB（压缩后） 投影坐标 WGS_1984_Albers
基金项目	中华人民共和国科学技术部（2018YFC0507300，2019QZKK0405）；陕西省科学技术厅（2018JM4016）
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
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）、通过《全球变化数据仓储电子杂志（中英文）》发表的实体数据和通过《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 ^[10]

3 数据研发方法

《中国国家生态屏障区 1-km 分辨率植被净初级生产力数据集》在 2000–2015 年 MOD13A2 1-km 植被指数 16 天合成产品^[11]、中国地面气候资料日值数据集（V3.0）^[12]等数据的基础上，基于 CASA 模型进行量化的成果产出。

3.1 研究区域概况

国家生态屏障区（22°45'N–53°34'N，82°50'E–134°22'E）横跨东西纵横南北，涵盖了青藏高原生态屏障、川滇-黄土高原生态屏障、北方防沙带、东北森林带和南方丘陵山地带五大区域^[13]。屏障区总面积为 3,114,874.36 km²，约占我国陆地国土总面积的 1/3，包含黑龙江、吉林、青海、甘肃等 18 个省，482 个县。降水量由东南向西北递减，多年平均气温为–6–23℃。研究区的生态系统类型多样、自然环境复杂^[13–15]。

3.2 CASA 模型

针对植被净初级生产力数据集生产，采用基于光能利用率原理的 Carnegie-Ames-Stanford-Approach (CASA)^[16]模型进行了国家生态屏障区陆地净初级生产力建模研究。该方法能够方便利用遥感数据与方法，输入参数少而避免了由于参数人为简化或估计产生的误差，因此成为国际最通用的 NPP 估算模型之一。其估算方法如下：

$$NPP(x,t) = APAR(x,t) \times \varepsilon(x,t) = [SOL(x,t) \times 0.5 \times FPAR(x,t)] \times [T\varepsilon(x,t) \times W\varepsilon(x,t) \times \varepsilon_{max}] \quad (1)$$

式中，*NPP* 为像元 *x* 处在 *t* 时间的净初级生产力（gC m⁻² a⁻¹），*APAR* 为植被吸收的光合有效辐射（MJ m⁻² a⁻¹），由 *SOL* 太阳总辐射量（gC m⁻²）、植被对光合有效辐射的吸收比例（*FPAR*）估算获得；*ε* 为光合有效辐射转化为有机碳的效率（gC MJ⁻²），由最大光能利用率（*ε_{max}*，取 0.389 gC MJ⁻¹）、温度胁迫（*Tε*）、水分胁迫（*Wε*）估算获得。最终，年际 *NPP* 为同年各月 *NPP* 的累加之和。

3.3 技术路线

本研究项目使用遥感数据、中国气象站数据及项目中已有的各种产品，基于光能利用率原理的 CASA 模型进行国家生态屏障区 1-km 空间分辨率年 *NPP* 的计算，技术路线如图 1 所示。在 CASA 计算模型中，光合有效辐射（*APAR*）和光能利用率（*ε*）为最重要的参

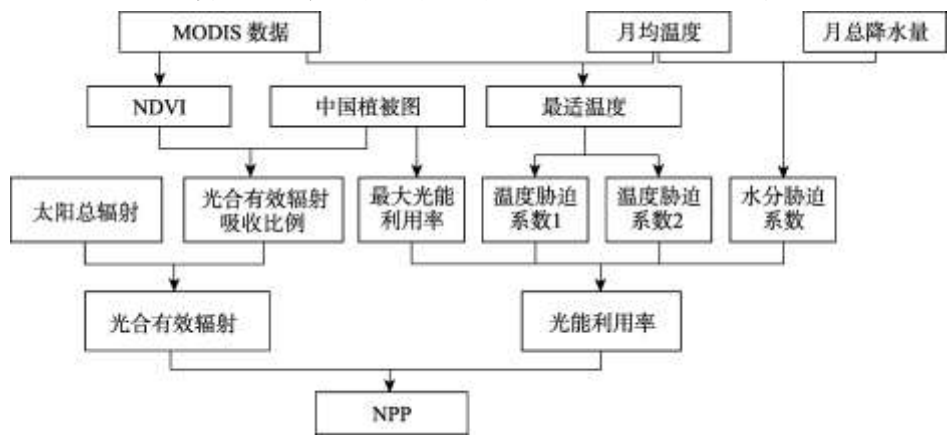


图 1 国家生态屏障区净初级生产力生产技术路线图

数。作为植被光合作用的驱动因子，辐射数据由太阳总辐射量及植被对入射光和有效辐射的吸收比例（FPAR）决定。其次，利用周广胜^[17]的区域实际蒸散模型及 Boucher^[18]提出的互补关系计算区域的实际、潜在蒸散量，用它们描述植被可利用的有效水分条件对光能利用率的影响。根据该方法来模拟水分胁迫因子，与土壤水分子模型相比，它的参数简单，模型的可操作性更强；温度对光能利用率的影响通过 NDVI 及月平均温度导出的最适温度计算得来。最终将 APAR 及 ε 作为 CASA 模型的输入因子量化研究区的逐年 NPP。

4 数据结果与验证

4.1 数据结果

数据 NBZ_NPP_1km_2000-2015 是 ArcGIS TIFF 格式的 2000–2015 年国家生态屏障区的年净初级生产力数据，空间分辨率为 1 km，单位是 gC m^{-2} ，投影坐标系为 WGS_1984_Albers，以压缩后的总数据量共计 53.8 MB，数据解压后在 ArcGIS 软件下应用此数据。

国家生态屏障区 2015 年 1-km 分辨率植被净初级生产力的空间分布见图 2。国家生态屏障区横跨约 60 个经度，区域内气候差异明显，因此 NPP 的空间分布差异较大。从整体上来看，NPP 的空间分布（2015 年）具有东南高西北低的特点，其值在 $0\text{--}1,004 \text{ gC m}^{-2}$ 。南方丘陵山地 NPP 最高，其次是青藏高原生态屏障、东北森林带及黄土高原-川滇生态屏障，北方防沙带 NPP 最低。在时间上，在研究年限内 NPP 呈现微弱的上升趋势（ $p=0.96$ ）。

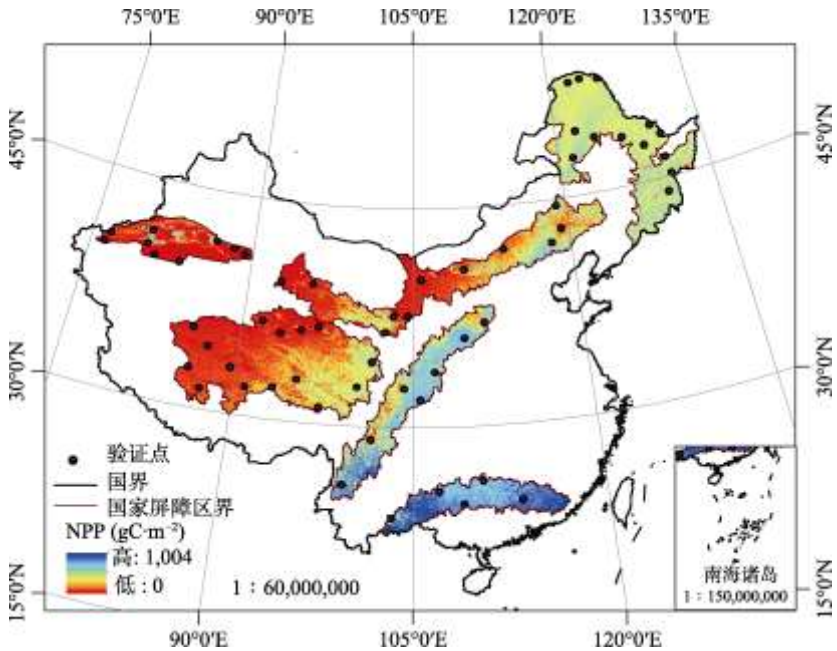


图 2 国家生态屏障区 1-km 分辨率植被净初级生产力图（2015）

（注：本图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2019)1831 号的标准地图制作，底图无修改）

NPP 在不同区域的时空差异较大，在川滇-黄土高原生态屏障区和北方防沙带呈现显著

增加趋势 ($p<0.05$)，年增加量分别为 2.37 gC m^{-2} 及 1.25 gC m^{-2} ；在东北森林带呈现显著降低趋势 ($p<0.05$)，年减少量为 2.23 gC m^{-2} ，在其他屏障区的 NPP 无显著变化。

4.2 数据结果验证

为了对国家生态屏障区 NPP 的计算精度进行验证，我们在相关论文中开展了验证数据收集的工作。采用的验证数据来自美国 NASA 网站^[19]，选取 2000、2005、2010、2015 年 MODIS17A3 数据的 NPP 产品。通过 MRT (MODIS Reprojection Tool) 软件对其进行转换处理并进行计算。每年共随机采集到 54 个点数据，共计 270 个 NPP 值，通过与本文相应年份计算的 NPP 数据结果进行对比检验 (图 3)。对比结果显示，两者之间相差较小 (验证数据范围在 $0\text{--}1,521.6 \text{ gC m}^{-2}$ ，模拟数据的范围在 $0\text{--}1,004.0 \text{ gC m}^{-2}$)，平均值均在 260 gC m^{-2} 左右，其总体精度 (即 1 减去 RMSE 除以 NPP 模拟数据的平均值) 为 81.47%。从图 3 可得，验证值与模拟值之间的相关性较高， R^2 为 0.94。因此，基于本文技术流程下获取的 NPP 结果精度较高，能够从较宏观的角度精确反映近年来国家生态屏障区 NPP 的变化态势。

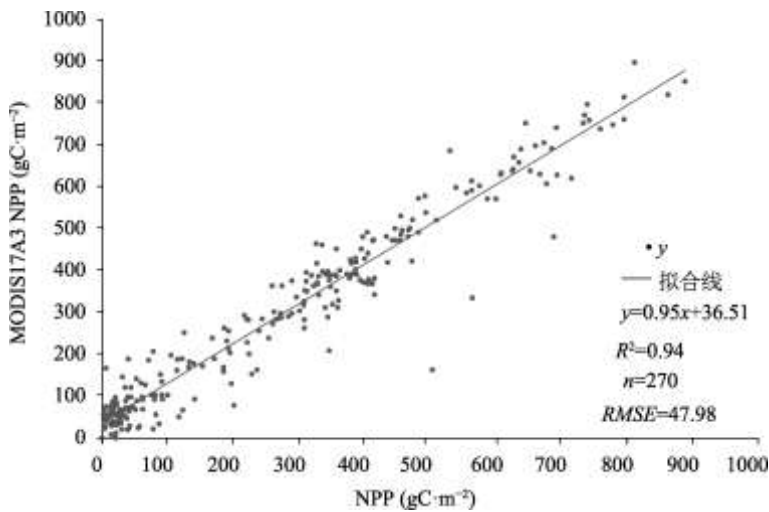


图 3 与 MODIS17A3 NPP 数据对比分析图

(注：图中点表示与 MODIS17A3 数据的对比结果，直线表示两者间的一元线性回归结果)

5 结论

为构建国家屏障区 NPP 时间序列产品，基于遥感、气象及土壤类型等数据获取光合有效辐射 (APAR) 和光能利用率 (ϵ) 进行了屏障区 NPP 的建模研究。经过与现有类似产品比较，该数据集具有较高精度，能够满足设计目标。2000–2015 年 1-km 空间分辨率的国家生态屏障区植被净初级生产力数据集展示了不同时期“两屏三带”NPP 的空间分布状况。它可为研究全球变化背景下国家生态屏障区的生态系统服务功能、碳循环时空格局演变分析，全面深入了解和把握国家生态屏障区安全态势，为生态系统的可持续发展提供可靠的基础数据和信息。

作者分工：王晓峰对数据集的开发做了总体设计；王怡、尹礼唱采集和处理了 NPP 数据；王晓峰设计了模型和算法；王晓峰做了数据验证；王晓峰、王怡撰写了数据论文等。

参考文献

- [1] 张懿锂, 祁威, 周才平等. 青藏高原高寒草地净初级生产力(NPP)时空分异[J]. 地理学报, 2013, 68(9): 1197–1211.
- [2] 穆少杰, 李建龙, 周伟等. 2001–2010 年内蒙古植被净初级生产力的时空格局及其与气候的关系[J]. 生态学报, 2013, 33(12): 3752–3764.
- [3] Zheng, Z., Zhu, W., Zhang, Y. Seasonally and spatially varied controls of climatic factors on net primary productivity in alpine grasslands on the Tibetan Plateau [J]. *Global Ecology and Conservation*, 2019, 21: e00814.
- [4] Chen, Y., Tao, Y., Cheng, Y., *et al.* Great uncertainties in modeling grazing impact on carbon sequestration: a multi-model inter-comparison in Temperate Eurasian Steppe [J]. *Environmental Research Letters*, 2018, 13(7): 075005.
- [5] Crabtree, R., Potter, C., Mullen, R., *et al.* A modeling and spatio-temporal analysis framework for monitoring environmental change using NPP as an ecosystem indicator [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(7): 1486–1496.
- [6] Field, C. B. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components [J]. *Science*, 1998, 281(5374): 237–240.
- [7] IGBP Terrestrial Carbon Working Group. The terrestrial carbon cycle: implications for the Kyoto Protocol [J]. *Science*, 1998, 280(5368): 1393–1394.
- [8] 傅伯杰, 王晓峰, 冯晓明. 国家屏障区生态系统评估[M]. 北京: 科学出版社, 2016: 271–345.
- [9] 王晓峰, 王怡, 尹礼唱. 中国国家生态屏障区 1-km 分辨率植被净初级生产力数据集 (2000–2015) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2020. DOI:10.3974/geodb.2020.03.10.V1.
- [10] 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).
- [11] <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/order/>.
- [12] <http://www.cma.gov.cn/>.
- [13] 王晓峰. 中国国家生态屏障区——全球变化数据大百科辞条[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2020. DOI: 10.3974/geodb.2020.03.01.V1.
- [14] 王晓峰, 勒斯木初, 张明明. “两屏三带”生态系统格局变化及其影响因素[J]. 生态学杂志, 2019, 38(7): 2138–2148.
- [15] 尹礼唱, 王晓峰, 张琨等. 国家屏障区生态系统服务权衡与协同[J]. 地理研究, 2019, 38(9): 2162–2172.
- [16] 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.
- [17] Zhou, G. S., Zhang, X. S. A natural vegetation NPP model [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 1995, 19(3): 193–200.
- [18] 张志明. 计算蒸发量的原理与方法[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1990.
- [19] <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/>.