

中国-东盟 1 km 分辨率 5 d 频率地表 反射率数据集 (2013)

仲波*, 吴善龙, 柳钦火*, 单小军, 杨爱霞, 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: 地表反射率是指地表物体向各个方向反射的太阳总辐射通量与到达该物体表面的总辐射通量之比, 它是研究地表生态环境变化的重要物理量。在 Terra/MODIS、Aqua/MODIS、FY3A/MERSI 和 FY3B/MERSI 四个卫星的相关数据基础上, 经过数据归一化处理、交叉辐射定标、辐射归一化、几何校正和大气校正, 形成单日地表反射率数据产品, 再对每 5 d 的单日地表反射率数据进行合成, 生成中国-东盟 1 km 空间分辨率、5 d 频率地表反射率数据集 (MuSyQ-REF-1km-2013)。数据验证采取间接验证的方法, 针对气溶胶光学厚度开展验证。真实性检验按照空间趋势检验、与实测数据对比检验和交叉检验 (与 MOD09 数据产品之间的对比验证) 完成。通过与北京及香河站的地面实测数据进行对比分析, 结果表明, 两者的相关系数在北京和香河分别为 0.79 和 0.81。该数据集采用 Sinusoidal Tile Grid 分幅, 共 40 景, 每景覆盖的经纬度范围为 $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ 。每个文件包括四个波段, 1-4 波段分别是蓝、绿、红和近红外波段的地表反射率, 每个波段的缩放系数都为 10,000。该数据集存储为 *.tif 格式, 被压缩为 80 个 .rar 文件, 压缩后的数据量为 19.33 GB。

关键词: 中国-东盟; 地表反射率; 归一化处理; 5 天合成; 1 km

DOI: 10.3974/geodp.2017.03.06

1 前言

地表反射率是指地表物体向各个方向反射的太阳总辐射通量与到达该物体表面的总辐射通量之比, 它是研究地表生态环境变化的重要物理量, 是开展定量遥感研究和生成其他定量遥感产品的基础。以单一传感器数据所形成的无云地表反射率产品时间周期长 (一般为 16 天), 不能及时反映地表的变化情况。中国-东盟 1 km 分辨率 5 d 频率地表反射率数据集 (2013) (MuSyQ-REF-1km-2013)^[1] 综合使用多源遥感数据, 在更短的时间周期 (5 天) 内合成了无云地表反射率, 提高了对地观测频次, 也提高了地表参数的反演精度。

收稿日期: 2015-02-15; 修订日期: 2016-04-10; 出版日期: 2017-09-25

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

*通讯作者: 仲波 L-4528-2016, 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, zhongbo@radi.ac.cn
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: 仲波, 吴善龙, 柳钦火等. 中国-东盟 1 km 分辨率 5 d 频率地表反射率数据集 (2013) [J]. 全球变化数据学报, 2017, 1(3): 290-298. DOI:10.3974/geodp.2017.03.06.

数据集引用格式: 仲波, 吴善龙, 柳钦火等. 中国-东盟 1 km 分辨率 5 d 频率地表反射率数据集 (2013) [DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2015. DOI: 10.3974/geodb.2015.02.02.V1.

2 数据集元数据简介

中国-东盟 1 km 分辨率 5 d 频率地表反射率数据集 (2013) 的名称、作者、地理区域、数据年代、时间分辨率、空间分辨率、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 中国-东盟 1 km 分辨率 5 d 频率地表反射率数据集元数据简表

条目	描述
数据库(集)名称	中国-东盟 1 km 分辨率 5 d 频率地表反射率数据集 (2013)
数据库(集)短名	MuSyQ-REF-1km-2013
数据作者	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 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 单小军 S-1589-2016, 中国科学院遥感与数字地球研究所, shanxj@radi.ac.cn 杨爱霞 R-9028-2016, 中国科学院遥感与数字地球研究所, yangax@radi.ac.cn 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
数据空间分辨率	1 km
数据时间频率	5 d
数据格式	.tif
数据量	26.62 GB
数据集组成	采用 Sinusoidal Tile Grid 分幅, 共 40 景, 每景覆盖的经纬度范围 10°×10°。每个文件包括四个波段, 1-4 波段分别是蓝、绿、红和近红外波段的地表反射率
基金项目	中华人民共和国科学技术部 (2012AA12A304, 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
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 ^[2]

3 数据研发方法

1 km 分辨率的遥感影像数据经过辐射定标以后形成表观反射率产品, 再经过几何校正, 形成几何归一化以后的表观反射率产品。然后, 经过大气校正, 形成地表反射

率产品。针对每一种数据形成单日的地表反射率产品，将不同数据在 5 日内的所有单
日地表反射率数据进行合成,形成用于表征 5 天内地表反射率的平均状态的产品称为 5
天合成地表反射率产品。其生产过程如图 1

3.1 辐射归一化

将遥感影像数据 DN 值转化为表观反
射率的过程中，由于卫星传感器制造工艺
等原因，造成不同传感器的辐射性能有差
异；为了消除这种差异，对辐射性能偏差
较大的传感器需要进行交叉辐射定标。在
生产本数据集产品的过程中，主要用到了
Terra/MODIS、Aqua/MODIS、MERSI/FY3A、
MERSI/FY3B 四种传感器的数据，其中
MODIS 两个传感器具有星上定标系统，且
被大家广泛认为具有较高的辐射精度和稳
定性，且在运行过程中有持续的维护。因
此，利用 MODIS 的两个传感器作为基准，
对 FY3A/B 的 MERSI 传感器开展交叉辐射
定标。交叉辐射定标方法的基本原理和流
程简述如下。

图 2 表示了基于 MODIS 时
间序列的交叉定标系数技术的
实现流程，主要包括定标前准
备、交叉辐射定标数据预处理、
交叉辐射定标过程以及定标结
果验证四个部分。交叉定标的
具体处理过程如下：

(1) 综合考虑一年当中日
地距离、观测角度以及地表下
垫面的变化，将 MODIS 时间序
列的影像数据按照其获取时间
划分为夏季及冬季。

(2) 分别对 MODIS 夏季、
冬季的时间序列影像的蓝光波

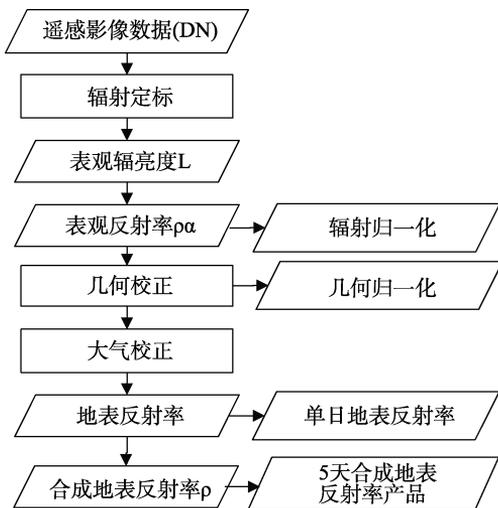


图 1 遥感影像归一化数据产品层级示意图

段，且在运行过程中有持续的维护。因此，利用 MODIS 的两个传感器作为基准，对
FY3A/B 的 MERSI 传感器开展交叉辐射定标。交叉辐射定标方法的基本原理和流程简
述如下。

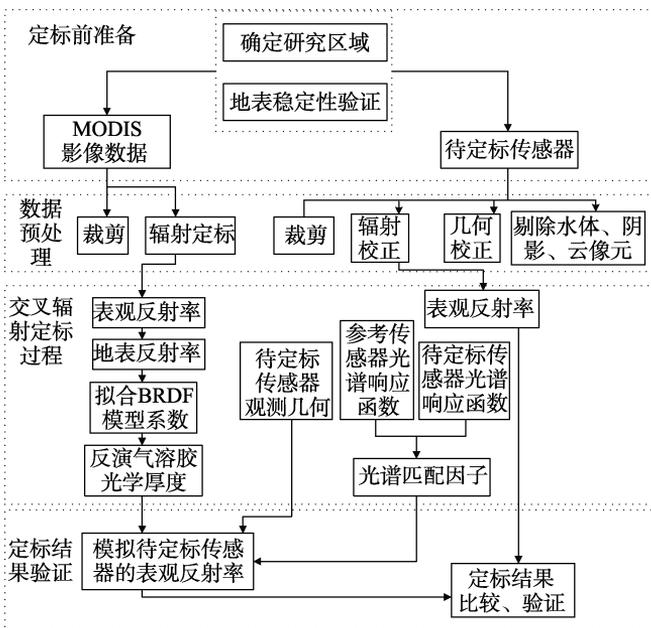


图 2 基于 MODIS 时间序列的交叉辐射定标技术路线图

段 (band3) 进行排序，挑选出干净日影像。因为 MODIS 的蓝光波段波长较短，受气
溶胶影像较大，使用蓝光波段能挑选出较为干净的影像；对影像的排序本文采用目视

解译的方法，按照影像的清晰度依次排序。

（3）拟合出干净日的地表 BRDF，分别得到夏季与冬季的 Staylor-Suttles 模型^[5]的模型系数，并同时反演气溶胶光学厚度。

（4）通过拟合出的 BRDF 模型系数，结合 MODIS 时间序列影像的观测角度信息，计算得到所有影像的地表反射率。

（5）在(3)反演出来的气溶胶光学厚度基础上，结合 MOD05 大气水汽产品、DEM 数据、待定标传感器的观测几何及模拟的待定标传感器的地表反射率，输入 MODTRAN 中，模拟出待定标传感器的表观反射率。

（6）将反演的表观反射率与利用场地定标系数计算的表观反射率进行对比，得到定标结果。

3.2 几何归一化

在地表反射率产品生产中，MODIS、FY3/MERSI 都属于中低分辨率数据。这些低分辨率影像，都是 L1B 级数据，没有经过任何几何处理，图像数据和用来定位的经纬度数据是分开存储的。因此，对于低分辨率数据，首先需要使用经纬度完成图像粗经纬。由于 MODIS 影像自动的经纬度数据很准确，因此，经过经纬度数据校正后的图像可以满足实际需求。而其它影像的经纬度数据精度不够，因此，需要采用影像配准技术进一步提高几何精度。其技术路线如图 3 所示：

（1）中低分辨率遥感数据解析

需要处理的中低分辨率数据是 1 级数据，没有经过几何处理，图像数据和经纬度数据分别存储。经纬度数据存储了图像上像素点对应的经度和纬度坐标，用来进行几何定位。数据解析是针对不同传感器的数据存储格式，采用不同的方法将不同图像文件中的影像数据和对应的经纬度数据提取出来。

（2）多源遥感数据解析与基于经纬度数据的几何粗校正
几何粗校正以经、纬度图像为基础，选取某一种投影

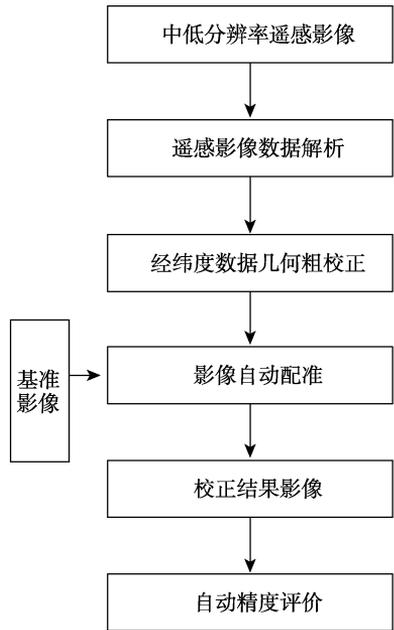


图 3 中低分辨率影像几何归一化处理总体技术流程

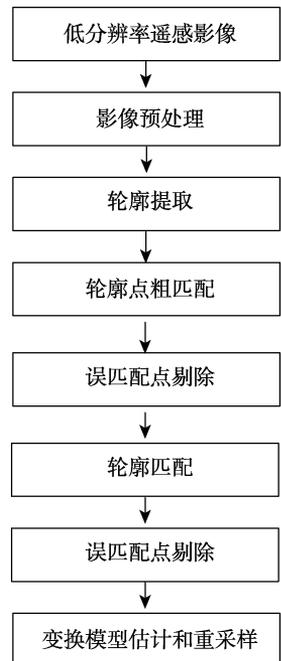


图 4 低分辨率影像自动配准技术路线

方式将其展开到一个平面上, 并按照一定的映射方式, 确定几何粗校正后图像像素的像素坐标和像素值, 从而达到几何粗校正的目的。

(3) 基于自动配准技术的几何精校正

由于海岸线、湖泊、岛屿等的轮廓信息保持较好, 容易提取, 因此本项目采用轮廓信息进行图像匹配。本项目中采用轮廓点特征匹配和轮廓线特征匹配相结合方式, 获得由粗到精的控制点。自动配准步骤主要包括: 遥感影像数据预处理、轮廓提取、轮廓匹配、误匹配点剔除、变换模型估计和影像重采样, 如图4所示。

3.3 大气校正

本算法的技术路线如图5所示。大气介于地表和传感器之间, 对可见光近红外波段具有强烈的吸收和散射作用, 使得卫星遥感传感器所获取的图像模糊泛白, 为遥感图像的解译造成一定困难; 而且由于遥感图像中包含了大气和地表两部分的信息, 降低了地表参数的定量遥感反演精度; 因此, 大气效应的纠正是遥感应用和定量遥感反演必须解决的问题。

除了降雨和降雪等相对短暂的影响因素以外, 地表的变化是随季节的变化而发生

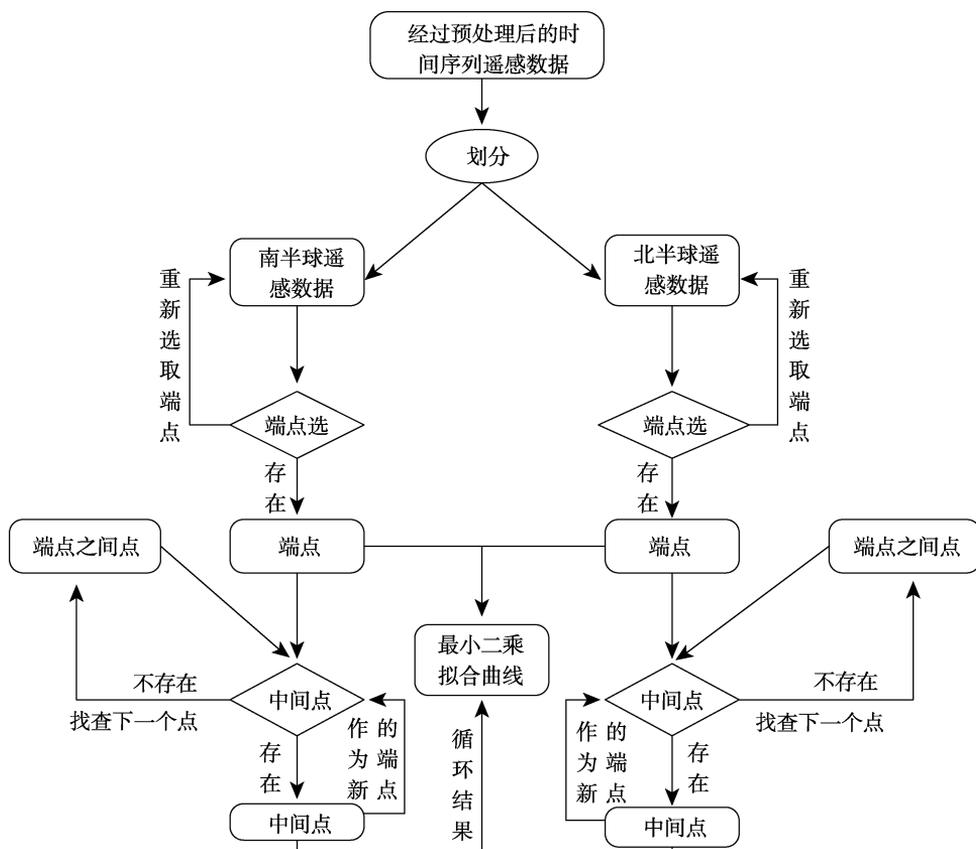


图5 中低分辨率 VNIR 数据 AOD 反演与大气校正技术路线图

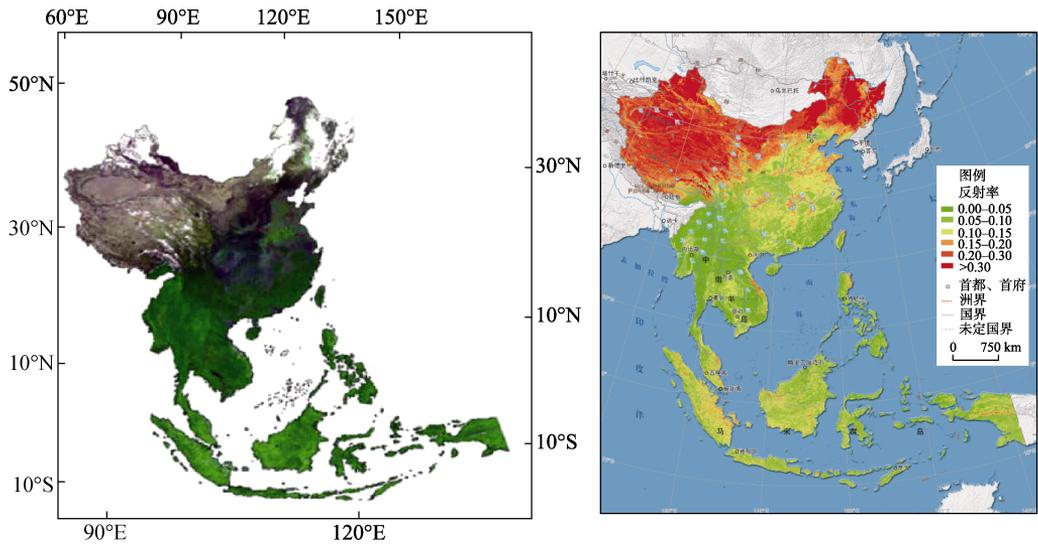


图 6 中国-东盟 1 km /5 d 合成的地表反射率

(a) 彩色合成图，合成时间为 2013 年 12 月 2-6 日；(b) 红波段反射率（审图号：GS(2015)1527 号）

变化的，这些变化主要是由植被的生长引起的。本研究发展了一种通过模拟植被生长过程的方法来实现大气校正的新算法。由于不同时期地表组分包含的成分不同。因此，可以利用时间序列遥感数据根据不同时期地表组分的差异（由于不同地表组成产生的反射率不一样，例如：浓密植被的反射率较低，裸土的反射率较高）来拟合一段时期内地表反射率的变化趋势（由植被生长引起的变化，该变化是渐进的）。

4 数据结果与验证

经过以上流程处理以后，5 天内的多源遥感影像数据就可以转化成 5 天合成的地表反射率数据。数据结果和数据验证如下所述：

4.1 数据结果

图 6 显示了由本流程所生成的中国及东盟区域 1 km 5 天合成的地表反射率彩色合成图，合成时间为 2013 年 12 月 2-6 日。该图像基本无云，与现有的主流 1 km 分辨率地表反射率合成产品相比，时间分辨率得到了较大的提高。

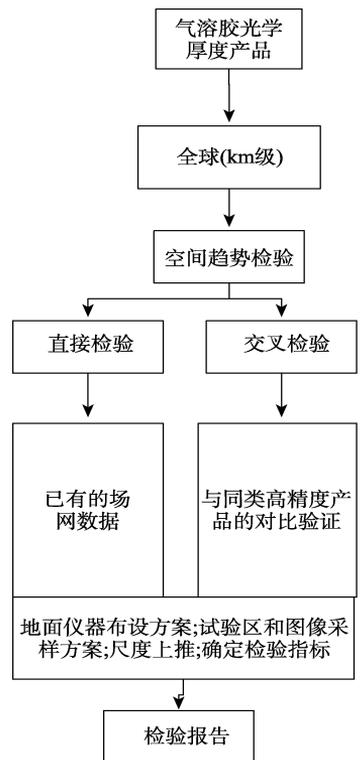


图 7 气溶胶光学厚度产品的真实性检验总体验证流程

4.2 数据验证

4.2.1 验证方案

由于针对地表反射率的直接验证比较困难，并且数据量有限，本研究主要采用间接验证的方法，针对 AOD 开展验证。真实性检验分为三个部分来实施，这三个部分包括空间趋势检验、直接检验（与 AERONET 站点观测数据）和交叉检验（与 MODIS 的 AOD 产品之间的对比验证）。验证方案如图 7 所示。使用的验证数据包括 MODIS 数据、AERONET 地面实测 AOD 数据和 MODIS 的 AOD 产品。

4.2.2 验证结果

由空间趋势知，表观反射率的空间趋势（图 8）与本产品的 AOD 趋势（图 9）一致。

我们将本产品所得到的 AOD 与 AERONET 在北京及香河站的地面实测数据进行初步的对比，结果表明，两者的相关系数在北京和香河分别为 0.79 和 0.81，RMSE 为 0.13 和 0.24。散点图见图 10。

将本产品的 AOD（图 9）与 MODIS 的 AOD 产品（图 11）进行对比，发现本产品的 AOD 具有以下几个特点：1）空间分辨率较高，为 1 km；2）在高亮地表都有值；3）在稀疏植被区域反演得到的 AOD 趋势更接近于真实值。

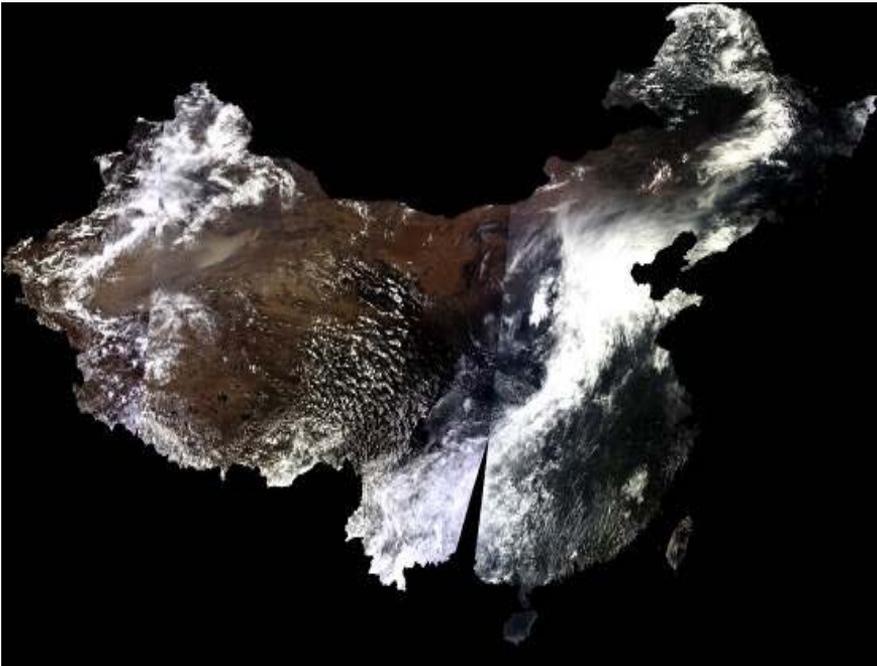


图 8 中国区域表观反射率真彩色（MODIS1、4、3 波段）合成图

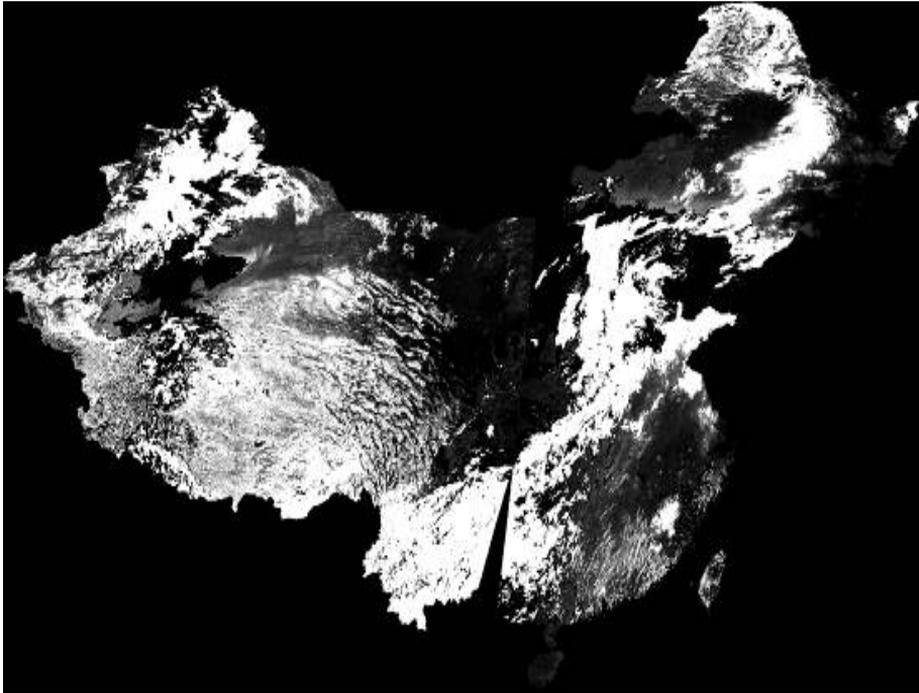


图 9 AOD 产品

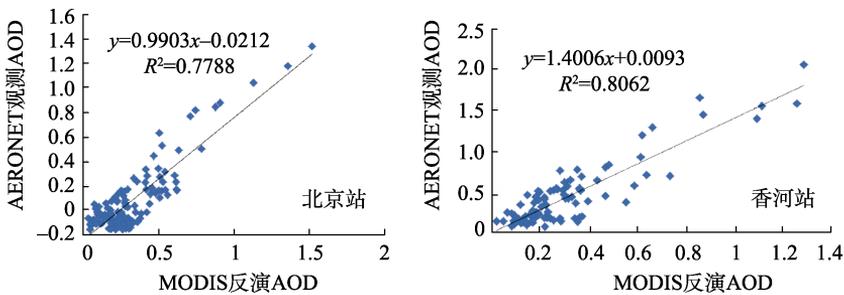


图 10 反演 AOD 与 AERONET 地面观测值之间的对比验证

5 讨论

利用 1 km 分辨率多源遥感数据经过辐射归一化、几何归一化及大气校正后，生成了 1 km 分辨率 5 d 的地表反射率产品。该产品在 5 天内形成了对中国-东盟的无云观测，对于地表参数定量遥感反演的时空分辨率及精度的提高具有积极意义。

作者分工：仲波和吴善龙参与地表反射率算法研究及产品生产；单小军提供几何归一化算法；杨爱霞提供辐射归一化算法；柳钦火和彭菁菁在产品算法、产品生产格式等方面提供意见。

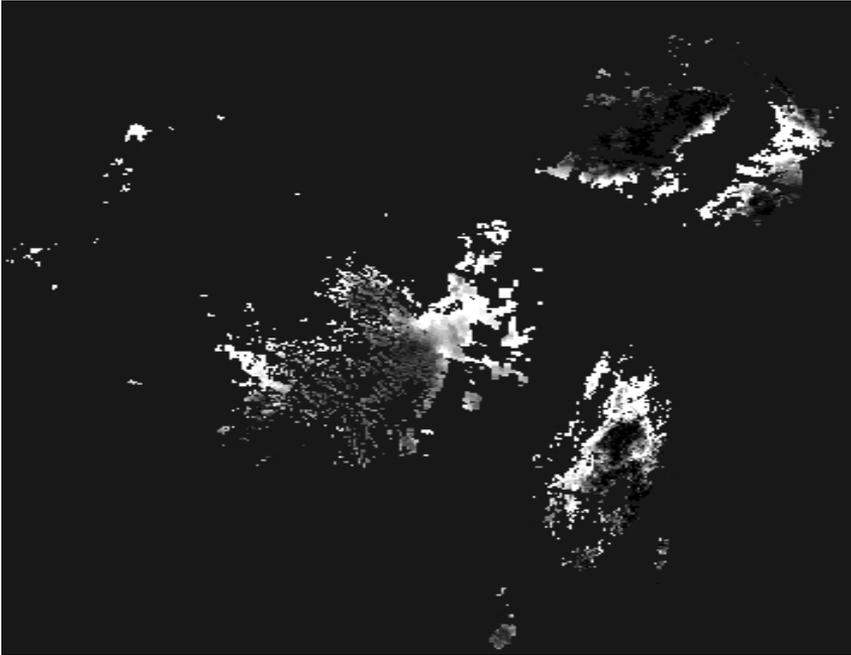


图 11 MODIS 的 AOD 产品

致谢: 该数据集所用的 MODIS 数据从 NASA 的网站下载, FY3/MERSI 数据是由中国国家气象局提供, 用于 AOD 验证的数据是从 NASA 的 AERONET 网站上下载, 在此表示感谢。

参考文献

- [1] 仲波, 吴善龙, 柳钦火等. 中国-东盟 1 km 分辨率 5 d 频率地表反射率数据集 (2013) [DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2015. DOI: 10.3974/geodb.2015.02.02.V1.
- [2] 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).
- [3] 黄海霞. 时间序列的中低分辨率遥感数据反射波段交叉辐射定标方法研究[D]. 青岛: 中国石油大学, 2011.
- [4] 杨爱霞. 基于 MODIS 的中低分辨率数据交叉辐射定标技术研究[D]. 重庆: 重庆邮电大学, 2014.
- [5] Staylor, W. F., Suttles, J. T. Reflection and emission models for deserts derived from Nimbus-7 ERB scanner measurements [J]. *Journal of climate and applied meteorology*, 1986, 25(2): 196-202.
- [6] Zhong, B., Yang, A., Wu, S. L., *et al.* Cross-calibration of reflective bands of major moderate resolution remotely sensed data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2018, 204(1):412-423.