

中国-东盟 1 km 分辨率植被覆盖度数据集

穆西晗¹, 柳钦火^{2*}, 阮改燕¹, 赵 静², 仲 波², 吴善龙², 彭菁菁²

1. 北京师范大学地理学部遥感科学国家重点实验室, 北京 100875;

2. 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: 植被覆盖度 (Fractional Vegetation Cover, FVC) 是刻画地表植被覆盖程度的一个重要参数, 也是指示生态环境变化的重要指标之一。中国-东盟 1 km/5 day 的 FVC 数据集, 采用像元二分模型和 NDVI 数据, 按照不同气候类型、不同土地和植被类型分别采取不同的归一化植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 到 FVC 转换系数开发完成。与基于 SPOT-VEGETATION 数据生成的植被覆盖度产品 GEOV1-FCOVER 对比分析显示, 本产品在时空连续性方面优于 GEOV1 FCOVER 产品。利用甘肃黑河流域等实验区地面观测数据进行直接验证显示, 本产品与地面实测数据一致性较好。

关键词: 中国-东盟区域; 植被覆盖度; 归一化植被指数; 像元二分模型

DOI: 10.3974/geodp.2017.01.07

1 前言

FVC 通常被定义为植被 (包括叶、茎、枝) 在地面的垂直投影面积占统计区总面积的百分比^[1]。它是刻画地表植被覆盖的一个重要参数, 也是指示生态环境变化的重要指标之一^[2]。遥感是目前大范围估算植被覆盖度的唯一手段^[2-4]。受天气或传感器等因素限制, 单一卫星传感器观测在产品周期内无法提供足够的有效观测, 不仅限制了 FVC 产品精度, 也造成产品在时间和空间上的不连续。随着组网技术的发展, 多源传感器的协同为提高 FVC 质量提供了一个有效可行的途径。通过周期内多源传感器的互补观测, 发展了基于多传感器观测的 FVC 产品生产算法, 提高了产品的时间分辨率和产品的时间跨度, 更好地服务于遥感数据产品的应用。

中国-东盟 1 km 分辨率植被覆盖度数据集 (1 km spatial resolution FVC product of China-Asean)^[5]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。本文介绍该数据的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-东盟 1 km 分辨率植被覆盖度数据集 (MuSyQ-FVC-1km-2013) 的名称、短名名

收稿日期: 2015-03-12; 修订日期: 2015-06-10; 出版日期: 2017-03-25

基金项目: 中华人民共和国科学技术部 (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: 穆西晗, 柳钦火, 阮改燕等. 中国-东盟 1 km 分辨率植被覆盖度数据集[J]. 全球变化数据学报,

2017, 1(1): 45-51. DOI: 10.3974/geodp.2017.01.07.

数据集引用格式: 穆西晗, 柳钦火, 阮改燕等. 中国-东盟 1 km 分辨率植被覆盖度数据集[DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2015. DOI: 10.3974/geodb.2015.01.17.V1.

称、作者、地理区域、数据年代、数据空间分辨率、数据出版单位、数据共享服务平台、数据集组成等信息如表 1。

表 1 中国-东盟 1 km 分辨率植被覆盖度数据集（2013）元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	中国-东盟 1 km 分辨率植被覆盖度数据集（2013）
数据集短名	MuSyQ-FVC-1km-2013
作者信息	穆西哈 L-4762-2016, 北京师范大学地理学部遥感科学国家重点实验室, muxihan@bnu.edu.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 阮改燕 A-3311-2017, 北京师范大学地理学部遥感科学国家重点实验室,rgyanlj@163.com 赵静 A-3272-2017, 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, zhaojingl@radi.ac.cn 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, zhong-bo@radi.ac.cn 吴善龙 S-1572-2016, 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, wsl0579@163.com 彭菁菁 S-1261-2016, 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, rspeggy@163.com
地理区域	地理范围包括南纬 10°55'12"至北纬 53°32'24", 东经 73°37'12"至 141°0'36"。其中包括中国、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 1 月至 12 月
空间分辨率	1,000 m
数据格式	.hdf, .tif, .zip
数据量	2,508.8 MB
基金项目	中华人民共和国科学技术部（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
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 ^[6]

3 数据研发方法

产品算法从遥感光学信号转换到植被本身生物物理特征参量的角度进行研究，采用了植被指数转换到植被覆盖度的方式进行覆盖度的估算^[7,8]。算法联合应用了多分辨率多源数据信息，结合低分辨率数据时间分辨率高和高分辨率数据的空间分辨能力强的优势，利用 MODIS 数据训练得到一套针对不同气候类型、不同土地和植被类型的 NDVI 到 FVC 转换系数集，利用 NDVI 数据集采用像元二分模型反演 FVC。

3.1 算法原理

植被覆盖度遥感反演方法主要有基于植被指数的经验模型法、基于辐射传输模型的查

找表方法和基于辐射传输模型或训练数据的神经网络方法。植被指数能反映植物生长及植被覆盖度，与植被空间分布密度呈正相关，其中最具代表性的是 NDVI。NDVI 越大，说明植被的长势越好，植被覆盖度越高，可用于检测植被长势、其他地物信息的提取，故 NDVI 被广泛应用于计算植被覆盖度。算法所用经验模型为^[8]：

$$FVC = \left(\frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \right)^k \tag{1}$$

式中，NDVI 为所求地块或像元的植被指数； $NDVI_{\max}$ 和 $NDVI_{\min}$ 分别为纯植被和纯裸土的 NDVI 值，受土壤、植被类型以及叶绿素含量等的影响，在遥感图像中难以准确获得。目前，这两个参数主要是通过对时间和空间上的 NDVI 数据进行统计分析来获取^[2]。例如：通过对时间序列上的 NDVI 数据的统计分析，获得时间序列上 NDVI 的最大值作为纯植被 NDVI，时间序列上的 NDVI 最小值作为纯裸土的 NDVI 值；也可以直接从研究区域的 NDVI 数据中选取最大值和最小值分别作为纯植被和纯裸土的 NDVI 值。

常用方法的问题在于 $NDVI_{\max}$ 和 $NDVI_{\min}$ 的获取不确定性非常大，本数据集在生产时采用一种结合高低分辨率数据的方法定量计算这两个经验系数，减少人为误差干扰。然后再用于植被覆盖度产品生产。

3.2 技术路线

前期通过训练获取不同土地分类和植被精细分类的 NDVI 到 FVC 转换系数表，然后对输入的 NDVI 指数采用相应的转换系数，通过 NDVI 到 FVC 非线性转换公式逐像元获得 FVC 产品，流程见图 1。

具体技术流程分以下几个步骤：

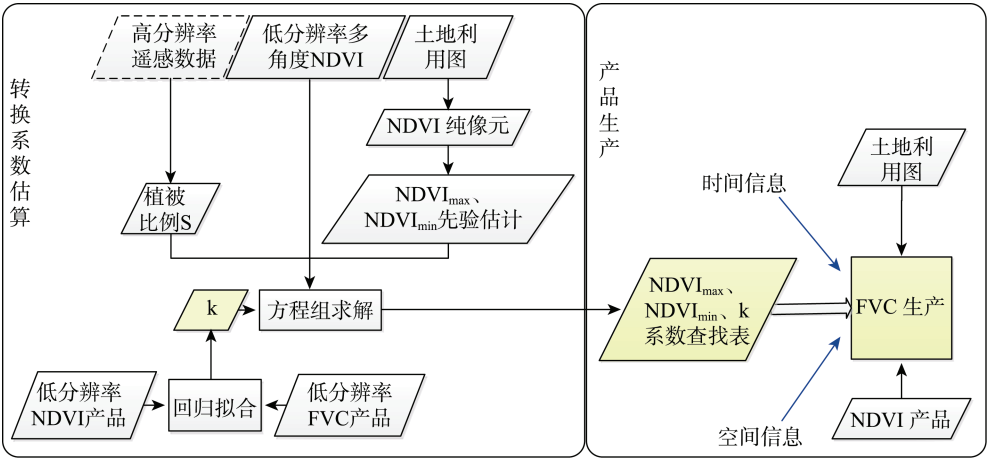


图 1 产品生产算法基本思路图

1) 转换经验系数查找表生成

面向全国的不同气候植被区划不同地表类型，针对 NDVI 与 FVC 转换关系中的三个经验系数建立查找表。先通过现有 FVC 及 NDVI 产品间拟合求解非线性化参数 k，再以土地利用图、低空间分辨率的 NDVI 数据为数据源，通过统计 NDVI 纯像元获得 $NDVI_{\max}$ 、 $NDVI_{\min}$ 的先验估计值，从高分辨率遥感数据中提取植被比例 S。构建 Beer-Lambert 定律描

述的方向性 FVC 与 NDVI-FVC 关系式之间的方程组，求解得到系数 $NDVI_{max}$ 和 $NDVI_{min}$ ，最终生成针对不同区划不同地类的转换经验系数查找表。

2) 分区计算 FVC

植被覆盖度生产先按照植被区划图进行空间分区。每个像元 FVC 计算须对获得的经验转换系数进行加权计算，获得与空间、时间信息相关的加权转换系数，进而进行覆盖度计算。

4 数据结果与验证

4.1 数据结果空间分布

中国-东盟 1 km 分辨率植被覆盖度数据集具有二级存储目录，首先按照日期存储，时间间隔为 5 天；其次每天数据按照行列号存储，数据行列号与 MODIS 标准分幅一致。利用遥感 FVC 产品分析 2013 年中国-东盟区域年最大植被盖度空间分布特征（图 2）。

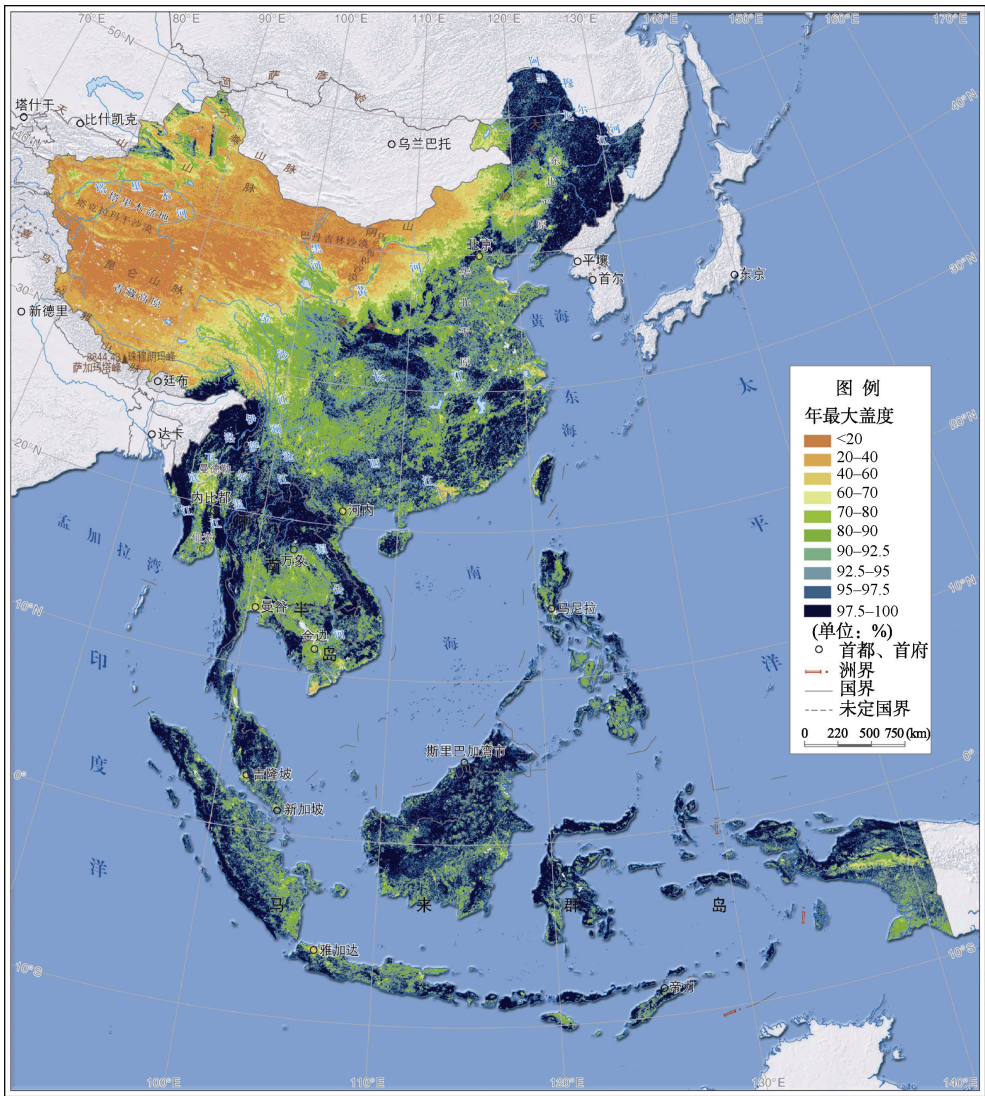


图 2 2013 年中国-东盟区域年最大植被盖度空间分布（审图号：GS(2015)1527 号）

4.2 数据结果验证

FVC 产品验证方法选择两种方式：第一种为直接验证方式，用地面实测数据（如 Geoland 项目 DIRECT 数据）联合高分辨率卫星数据，生产卫星尺度的高分辨率植被覆盖度影像，或者将地面实测数据直接通过地统计学方法空间尺度上推，将其聚合到粗分辨率尺度进行直接验证。第二种为间接验证方式，是与现有其他来源 FVC 产品（如 GEOV1 FVC）进行交叉验证分析。

4.2.1 直接验证

为了验证该算法反演结果的精度，分别利用 2010 年怀来实验及 2012 年黑河实验中获取的系列实测植被覆盖度数据^[9]来验证反演结果。

怀来实验植被覆盖度反演结果验证：
首先从实测的数码相片中提取出植被覆盖度；然后通过 GPS 坐标建立实测点 FVC 数据与遥感反演 FVC 数据之间的关系，作散点图。实验选取样点尽可能选择植被覆盖均匀，而且样点与样点之间的距离大于 3 个 250 m MODIS 像元大小。在验证时，直接通过实测点 FVC 空间尺度上推来验证遥感反演的 250 m FVC 结果（图 3）。从实测 FVC 与对应区域 250 m MODIS 数据估算的 FVC 结果散点图来看，两者相关性较好，决定系数达到 0.821，标准偏差只有 0.078。这也说明所提出的植被覆盖度遥感反演算法的结果可以接受。

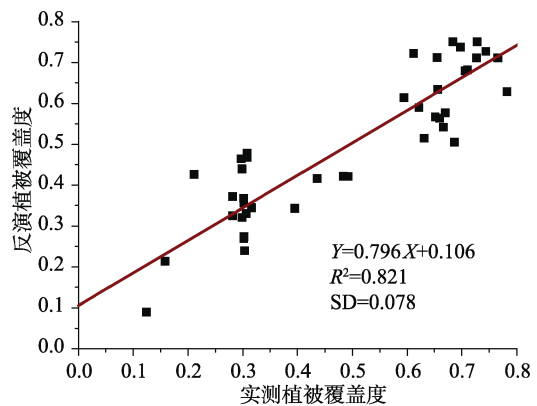


图 3 怀来实验区实测 FVC 与对应区域 250 m MODIS FVC 计算结果散点图

黑河实验植被覆盖度反演结果验证：比较了三种植被覆盖度数据。首先将 ASTER NDVI 影像联合地面实测数据，通过 FVC 与 NDVI 之间的经验转换关系，得到 ASTER 尺度植被覆盖度，再利用尺度上推方法，聚合到 1 km 尺度的植被覆盖度参考数据，得到 ASTER 聚合 FVC 均值（联合地面实测数据）；同时，在研究区内对现有的植被覆盖度产品 GEOV1 和生产的 MuSyQ FVC 算法产品分别取均值，做三种数据时间序列曲线图（图 4）。从图 4 结果看，GEOV1 的结果较 ASTER 影像联合地面实测的结果偏高，数据集 FVC 结果位于两者之间，说明在实验区本文提供的植被覆盖度反演算法反演的结果优于 GEOV1 产品，结果较好。

4.2.2 间接验证

本次产品交叉检验空间范围为东南亚大湄公河次区域，待验证产品为植被覆盖度共性产品（简称：MuSyQ FVC），

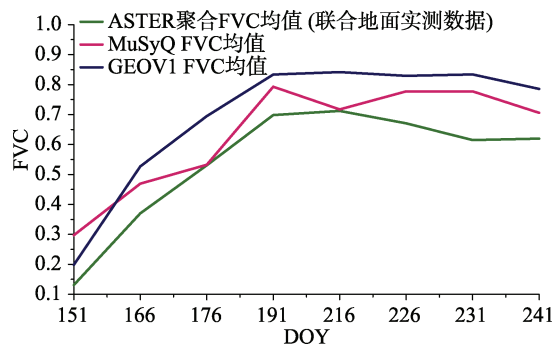


图 4 黑河流域 ASTER 升尺度 FVC 均值、本文算法数据集 FVC 均值与 GEOV1 FVC 均值验证时间序列曲线图

验证数据为 Geoland2 项目发布的基于 SPOT VEGETATION 遥感数据的植被覆盖度产品(简称: GEOV1 FCOVER)，数据详细信息见表 2。

表 2 东南亚区域遥感产品真实性检验数据信息

产品	时间分辨率	空间分辨率	时间跨度
MuSyQ FVC	5 d	1 km	2013.5.24–2013.9.23, 10 天间隔, 共 13 期
GEOV1 FCOVER	10 d	1/112°	2013.5.24–2013.9.23, 共 13 期

验证采用交叉验证的方法，首先对两种数据进行基本的预处理。对 13 期数据进行时空对比分析，选择其中 3 期为示例数据（图 5）。结果表明该产品部分区域存在空值，但是 MuSyQ 产品时空连续性方面均优于 GEOV1 FCOVER 产品。

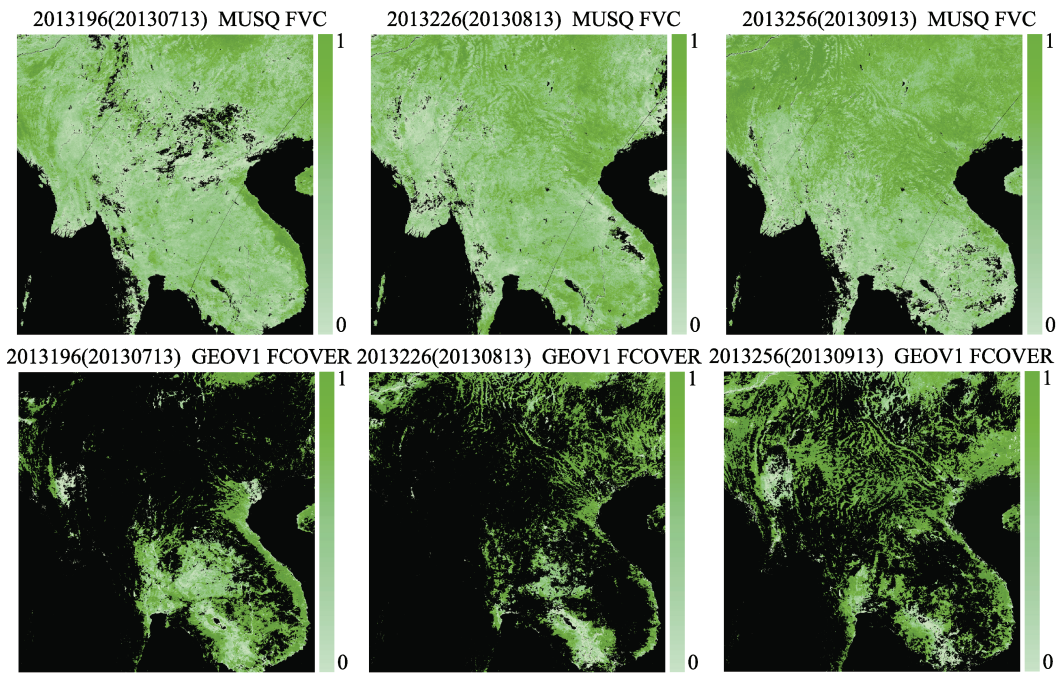


图 5 MuSyQ 和 GEOV1 FVC 产品时空连续性比较

在验证区域抽样进行 RMSE、BIAS 等数值统计（表 3），并进行时间序列曲线分析（图 6），总的结果为产品的 FVC 曲线与验证数据 GEOV1 FCOVER 曲线趋势基本一致，但产品相对低估。

表 3 验证区域数值统计结果

日期	146	156	166	176	186
偏差	-0.030	-0.034	-0.066	-0.147	-0.129
日期	216	226	236	256	266
偏差	-0.105	-0.091	-0.178	-0.113	-0.049

MuSyQ 产品时空连续性明显好于现有 GEOV1 全球植被覆盖度产品。2013 年度夏季的有些时相，MuSyQ 产品比 GEOV1 的有效区域要多 1 倍，体现在缅甸、老挝、泰国等区域

的连续性优势比较明显,可能跟这个时间段东南亚云雨较多有关。但同时,虽然在 7、8 月份 MuSyQ 的缺失值不多,但是已有数据体现出一定的时间性波动,可能相应的产品质量受云、雨的影响有所下降。考虑到 MuSyQ 的覆盖度是来自于 NDVI 的次一级产品,NDVI 产品质量问题可能传递到覆盖度产品。

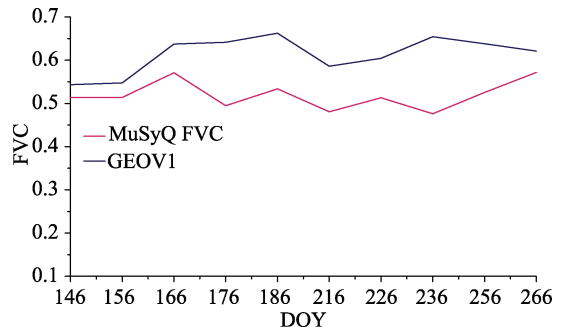


图 6 东盟验证区域 MuSyQ 和 GEOV1 FVC 产品时间序列曲线

5 讨论和总结

本文提出的 FVC 反演算法较好地结合应用了不同分辨率数据的信息。通过高分辨率数据可以直接获得植被覆盖比例,减轻低分辨率数据异质性的影响,用于反演 NDVI 转化植被覆盖度参数。

算法结合现有遥感产品和数据计算 NDVI 到 FVC 的转换系数。首先配合土地利用图和植被分类图,寻找有代表性的均一像元用于训练植被指数的转换系数。在全球尺度上主要采用 SPOT VEGETATION 等现有植被覆盖度产品、MODIS 等低空间分辨率的 NDVI 数据,两者结合用于反演 NDVI 转换到植被覆盖度的系数。在植被比例、NDVI 转化到植被覆盖度参数先验知识的支持下,选用合适的优化算法对已有的经验模型进行参数反演,获得不同地类不同植被区划里 NDVI 转化植被覆盖度的系数。

最后,算法利用获得的 $NDVI_{max}$ 、 $NDVI_{min}$ 、k 系数,根据输入 NDVI 产品信息,经过系数的加权计算,生成区域范围和全球范围的覆盖度产品。

系数计算和产品生产独立,算法更新容易,更利于大规模产品生产。

作者分工:穆西哈和柳钦火设计了此研究主题,阮改燕、赵静、仲波、吴善龙和彭菁菁进行了数据处理和分析,阮改燕和赵静撰写数据论文。

参考文献

- [1] Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., Stark, R., et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 80(1): 76–87.
- [2] Liang, S., Li, X., Wang, J. Advanced Remote Sensing: Terrestrial Information Extraction and Applications [M]. Pennsylvania: Academic Press, 2012.
- [3] Gutman, G., Ignatov, A. Satellite-derived green vegetation fraction for the use in numerical weather prediction models [J]. *Advances in Space Research*, 1997, 19(3): 477–480.
- [4] Gutman, G., Ignatov, A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models [J]. *International Journal of remote sensing*, 1998, 19(8): 1533–1543.
- [5] 穆西哈, 柳钦火, 阮改燕等. 中国-东盟 1 km 分辨率植被覆盖度数据集[DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2015. DOI: 10.3974/geodb.2015.01.17.V1.
- [6] 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).
- [7] Huang, S., Mu, X., Yan, G. Validation of coarse-resolution fractional vegetation cover product in Heihe Basin, China [C]. Proceedings of IGARSS, 2013: 2102–2105.
- [8] Mu, X., Huang, S., Ren, H., et al. Validating GEOV1 fractional vegetation cover derived from coarse-resolution remote sensing images over croplands [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2015, 8(2): 439–446.
- [9] Song, W., Mu, X., Yan, G., et al. Extracting the Green Fractional Vegetation Cover from Digital Images Using a Shadow-Resistant Algorithm (SHAR-LABFVC) [J]. *Remote Sensing*, 2015, 7: 10425–10443.