

引用格式: Fu Di, Jin Xin, Jin Yanxiang, *et al.* High Spatial and Temporal Resolution Leaf Area Index Dataset of Bayin River Basin [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2022, 37(2): 499–506. [傅笛, 金鑫, 金彦香, 等. 巴音河流域高时空分辨率叶面积指数数据集[J]. 遥感技术与应用, 2022, 37(2): 499–506.]  
DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2022.2.0499

## 巴音河流域高时空分辨率叶面积指数数据集

傅笛<sup>1,2</sup>, 金鑫<sup>1,2,3</sup>, 金彦香<sup>1,2,3</sup>, 毛旭锋<sup>1,2,3</sup>, 翟婧雅<sup>1,2</sup>

(1. 青海师范大学 地理科学学院, 青海 西宁 810016;

2. 青海省自然地理与环境过程重点实验室, 青海 西宁 810016;

3. 高原科学与可持续发展研究院, 青海 西宁 810016)

**摘要:** 叶面积指数(Leaf Area Index, LAI)是表征地表特征变化的重要指标之一,也是陆表、水文等模型的重要参数。本数据集是基于增强型时空自适应反射率融合模型(ESTARFM),将全球陆地表层卫星(GLASS)LAI(8d/500m)、中分辨率成像光谱仪(MODIS)MOD13A1和MYD13A1、陆地卫星Landsat-7 ETM+和Landsat-8 OLI数据,进行融合,得到8d/30m分辨率的LAI,通过分段线性内插最终得到巴音河流域高时空分辨率LAI(1d/30m)。对比高时空分辨率LAI(1d/30m)与GLASS LAI产品的时空特征,验证数据集精度。结果表明:与原始GLASS LAI相比,本数据集在空间上具有与GLASS LAI一致的分布特征,且轮廓与纹理更为清晰。在时间上,二者具有相同的月际变化特征,且由1d/30m LAI估算的区域月平均LAI和区域8日平均LAI与原始GLASS LAI存在显著正相关性, $R^2$ 分别为0.95、0.94, Pearson积矩相关系数均为0.97, P值均小于0.01。此数据集可为陆表过程、水文循环等模拟提供重要的数据支持,为监测植被-陆表-大气循环的变化提供重要依据。

**关键词:** GLASS LAI; ESTARFM模型; 高时空分辨率; 数据集

**中图分类号:** TP79    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1004-0323(2022)02-0499-08

### 1 引言

叶面积指数(LAI)被定义为单位水平地表面上绿叶表面积总和的一半<sup>[1]</sup>,对植被-陆表-大气循环有重要影响,是生态系统的重要结构参数之一<sup>[2]</sup>。它被视为反应全球变化的基本变量之一<sup>[2]</sup>,亦是许多陆面过程模型和生态水文模型的重要输入参数<sup>[3-5]</sup>。

目前,基于遥感的LAI因覆盖范围广、易获取、高时效等优势<sup>[6]</sup>而被广泛应用。研究表明,大多数自然和人工的生态系统存在空间异质性,空间分辨率在10~100 m之间的LAI遥感产品更能表达实际

情况<sup>[3-4]</sup>。此外,为了更好地监测快速变化的地表信息,遥感数据时间周期越短越好<sup>[7]</sup>。然而目前,同时兼顾高时间和高空间分辨率的LAI遥感产品较为缺乏。目前,全球LAI遥感产品主要有MODIS(the Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer)<sup>[8]</sup>、GLASS(Global Land Surface Satellite)<sup>[9]</sup>、GEO(Geoland)<sup>[10]</sup>、GLOBMAP<sup>[11]</sup>等,虽然部分产品时间分辨率为1d,但是空间分辨率普遍偏低(大于或等于300 m)。经大量研究对比及验证<sup>[12-15]</sup>,时空分辨率为8d/500m的GLASS LAI在空间上完整、时间上连续,且具有较高精度。然而其较低的空间分辨率限制了其应用。

收稿日期: 2021-08-10; 修订日期: 2022-02-18

基金项目: 国家自然科学基金项目“基于模型改进的高寒内陆河流域地下水补排关系研究”(41801094), 青海省科技厅自然科学基金项目“基于模型改进的柴达木盆地植被恢复的土壤水资源响应研究”(2021-ZJ-705)。

作者简介: 傅笛(1997—),女,重庆荣昌人,硕士研究生,主要从事水文过程方面的研究。E-mail: fud2020@163.com

通讯作者: 金鑫(1988—),女,青海西宁人,博士,副教授,主要从事生态水文学研究。E-mail: jinx13@lzu.edu.cn

多源遥感数据时空融合模型,如 STARFM ((Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model)<sup>[16]</sup>、ESTARFM (Enhanced Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model)<sup>[17]</sup>、FSDAF (Flexible Spatiotemporal Data Fusion Model)<sup>[18]</sup>等,是获取高时空分辨率遥感数据的有效手段。这些模型可结合不同遥感数据时间和空间分辨率的优势,通过特定算法将其融合产生高时空分辨率遥感数据<sup>[19]</sup>。

众多模型中,增强型自适应反射率时空融合模型 ESTARFM 已广泛并成功应用于对植被覆盖<sup>[20]</sup>、NPP<sup>[21]</sup>、LAI<sup>[22]</sup>、降水<sup>[23]</sup>、灌溉<sup>[24]</sup>等的监测,它不仅对异质景观和相识像元有较高预测精度和识别能力,还能保留更多的空间细节<sup>[16]</sup>,较其他一些模型精度更高<sup>[25-27]</sup>。ESTARFM 模型通常通过两种方式实现,即 BI (Blend-then-Index) 和 IB (Index-then-Blend),前者是先融合原始影像,再计算所需指数,后者相反。相关研究证明 IB 方式具有较高准确性<sup>[28]</sup>。

巴音河流域位于柴达木盆地东北缘(如图 1),位于德令哈市境内,是柴达木盆地第四大内陆河,亦是盆地内重要的粮食生产基地。该流域发源于祁连山南坡宗务隆山区,经德令哈市后,分别注入克鲁克湖、尕斯库勒湖,属于典型的高原荒漠半荒漠干旱性气候,土地覆被类型主要为草地和荒漠。其生态环境脆弱,水资源短缺<sup>[29]</sup>。受人类活动、气候变化的影响,巴音河流域水资源供需矛盾和生态环境问题日益突出<sup>[30]</sup>。本研究拟基于 2014~2018 年 GLASS LAI、MOD13A1、MYD13A1、Landsat-7-ETM+、Landsat-8 OLI 数据,通过 ESTARFM-IB 方式获取时间连续的 8 d/30 m 分辨率 LAI,再结合分段线性内插得到 1 d/30 m LAI。该数据可用于分析巴音河流域植物生长状态、植被覆盖、生态系统变化,亦可为陆面过程模型构建、水文过程模拟提供重要数据支持,也为巴音河流域生态环境保护提供重要的科学依据。

## 2 数据源与预处理

### 2.1 GLASS LAI

研究采用的 GLASS LAI 数据集由北京师范大学全球变化处理与分析中心(<http://www.glass.umd.edu/Download.html>)发布。研究采用最新的 GLASS LAI v5 数据,其时空分辨率为 8 d/500 m,时间序列为 2000~2018 年。该数据集是将 MODIS

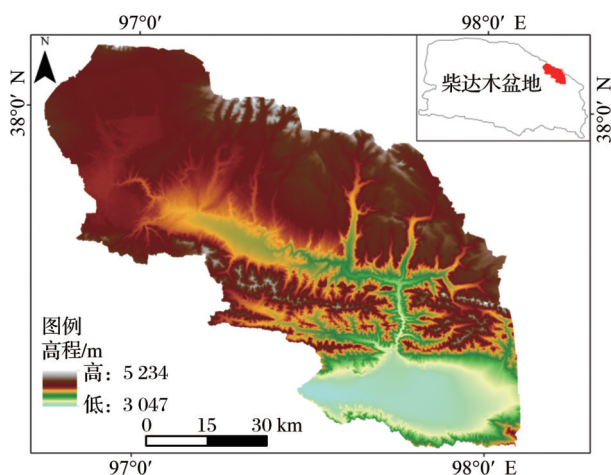


图 1 研究区概况图

Fig.1 The study area

LAI 和 CYCLOPES LAI 产品通过加权线性组合生成融合 LAI<sup>[11]</sup>,利用融合的 LAI 和预处理的 AVHRR/MODIS 地表反射率数据建立训练样本,在 BELMANIP (Benchmark Land Multisite Analysis and Intercomparison of products) 站点上,采用 GRNN (广义回归神经网络) 对每种生物群落类型进行训练<sup>[11]</sup>。最终以 AVHRR/MODIS 地表反射率为输入数据,生成全球长时间序列的 LAI<sup>[31]</sup>。研究所采用的 GLASS LAI v5 数据,行列号为 h25v05,时段为 2014 年 1 月 1 日至 2018 年 12 月 27 日。

### 2.2 MODIS 及 Landsat 数据

研究采用的 MODIS 数据为 MOD13A1、MYD13A1 产品 (<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search>) 的归一化植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 数据,时空分辨率均为 16 d/500 m,行列号和成像日期与 GLASS LAI 一致。本研究采用的 Landsat-7 ETM+、Landsat-8 OLI (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) 数据,时空分辨率为 16 d/30 m,行列号为 135/34,数据获取时间与 MODIS 间隔不超过 3 d。

### 2.3 数据预处理

利用 ENVI5.3 软件去除 Landsat-7 ETM+、Landsat-8 OLI 影像条带,并进行辐射定标、大气校正、裁剪等预处理。使用 ArcGIS 对 GLASS LAI、MOD13A1 和 MYD13A1 进行去除特异值、投影转换、重采样、裁剪等预处理。

## 3 方法

### 3.1 高时空分辨率 LAI 获取技术路线

技术路线如图 2 所示,高时空分辨率 LAI 获取

流程如下:①建立 GLASS LAI 与 MOD13A1、MYD13A1 NDVI 线性关系:基于 2014~2018 年 GLASS LAI、MOD13A1、MYD13A1 NDVI 的每一景影像,选取对应时间的样本点,提取样本点对应的像元值,通过这些像元值建立 LAI 与 NDVI 线性关系 LAI-NDVI<sup>[32,33]</sup>;②利用预处理后 Landsat-7 ETM+、Landsat-8 OLI 的红、近红波段计算 Landsat NDVI;③将 Landsat NDVI 作为变量输入到 LAI-NDVI 线性关系中,得到 Landsat LAI;④将 3 期 GLASS LAI 和 2 期 Landsat LAI 输入 ESTARFM 模型中,融合得到 8 d/30 m 时空分辨率的 LAI;⑤分段线性内插 8 d/30 m LAI 得到 1 d/30 m 的叶面积指数:以第  $i$  天和第  $i+8$  d 为节点,每隔 8 d 对 8 d/30 m LAI 每个像元建立时间与 LAI 的一元线性方程,以计算每个 8 d 内任一天的 LAI。该方法简单易行,一元线性函数具有连续性,且不会出现区间内线性函数图像超出以两节点连线为对角线的矩形范围的越界现象<sup>[34]</sup>。该方法的不确定性在于无法拟合 8 日内 LAI 先增后减等波动变化情况。

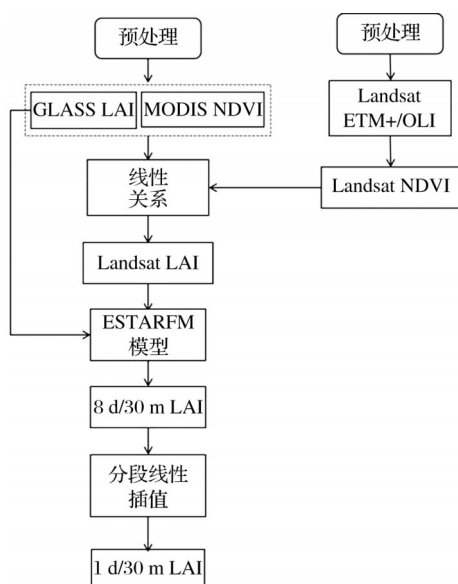


图2 高时空分辨率 LAI 计算流程图

Fig.2 Flow chart of LAI calculation with high spatial and temporal resolution

### 3.2 ESTARFM 模型

ESTARFM 模型是由 STARFM 模型改进而来,它提高了基于滑动窗口相似像元的筛选精度,同时结合这些滑动窗口内相似像元信息,来预测中心像元的反射率,从而提高时空融合精度<sup>[17]</sup>。计算公式如下:

$$F(x_{w/2}, y_{w/2}, t_p, B) = F(x_{w/2}, y_{w/2}, t_0, B) + \sum_{i=1}^N W_i \times V_i \times (C(x_i, y_i, t_p, B) - C(x_i, y_i, t_0, B)) \quad (1)$$

其中:  $F(x_{w/2}, y_{w/2}, t_p, B)$  表示预测  $t_p$  时刻高分辨率像元值;  $F(x_{w/2}, y_{w/2}, t_0, B)$  表示  $t_0$  时刻高分辨率像元值;  $C(x_i, y_i, t_p, B)$  和  $C(x_i, y_i, t_0, B)$  分别为低分辨率  $t_p$ 、 $t_0$  时刻的像元值;  $w$  为滑动窗口大小;  $x_{w/2}, y_{w/2}$  为滑动窗口中心像元;  $N$  为相似像元的数量;  $x_i, y_i$  为第  $i$  个相似像元的位置;  $W_i$  为第  $i$  个相似像元的权重;  $V_i$  则表示第  $i$  个像元的光谱转换系数;  $B$  为影像的波段。

实际融合过程中, ESTARFM 模型需要 5 景影像, 其中 2 对为同一时间 ( $t_0$  和  $t_q$ ) 的 Landsat LAI 和 GLASS LAI, 结合处于  $t_0$  和  $t_q$  之间  $t_p$  时刻的 GLASS LAI, 融合得到  $t_p$  时刻 8 d/30 m 时空分辨率的 LAI。

### 3.3 Pearson 积矩相关系数

Pearson 积矩相关系数大小用于描述两个变量间相关性的强弱<sup>[35]</sup>, 本文利用其评价 GLASS LAI 与高时空分辨率 LAI 二者对应 LAI 值相关性的强弱, 计算公式如下:

$$P = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2 \sum (Y - \bar{Y})^2}} \quad (2)$$

其中:  $X, Y$  为两个变量;  $\bar{X}, \bar{Y}$  为两个变量的平均值。其范围为  $[-1, 1]$ , 负值为负相关, 正值为正相关, 绝对值越接近 1, 相关性越强。

## 4 数据质量评估

GLASS LAI 较其他遥感 LAI 产品具有较高精度和数据完整性, 不确定性较低<sup>[11]</sup>, 在时间变化上 LAI 值较为平滑, 突变少<sup>[9,36]</sup>。Li 等<sup>[12]</sup>基于实测 LAI, 对比了 GLASS、GLOBALBNU、GLOBMAP、MODIS 4 种 LAI 产品精度, 表明 GLASS LAI 精度最优, 在全球范围内  $R^2=0.7$ , RMSE=0.96, 在中国范围内  $R^2=0.94$ , RMSE=0.61; Xiao 等<sup>[37]</sup>使用实测 LAI 验证了 GLASS LAI 的精度, 与 MODIS LAI、GEOV1 LAI 相比较, GLASS LAI 与实测 LAI 最为接近(除热带雨林外),  $R^2$  为 0.809 5, RMSE 为 0.784 8; 向阳等<sup>[36]</sup>利用实测 LAI 验证对比了 GLASS、MODIS、CYCLOPES 3 种 LAI 产品精度, 结果表明 GLASS LAI 精度最高,  $R^2=0.76$ ; 孙晨曦等<sup>[38]</sup>在内蒙古草原基于实测 LAI 评估了 GLASS LAI 的准确性,  $R^2$  达到 0.72; 骆月珍等<sup>[6]</sup>在常绿阔叶林地区以实测 LAI 为依据, 比较了 GLASS LAI、MOD15 LAI、MCD125 LAI 的差异, 发现 GLASS LAI 的  $R^2=0.61$ , RMSE=1.20, 优于



MODIS LAI。基于上述研究,本研究认为 GLASS LAI 准确性较高。故将本研究得到的高时空分辨率 LAI(1 d/30 m)数据集与 GLASS LAI 产品的时空特征进行对比,以验证数据集精度。

### 3.1 高时空分辨率 LAI 的空间特征

为了验证高时空分辨率 LAI 空间精度,以 2014 年 7 月 12 日 LAI 为例,分析了原始 GLASS LAI

(8 d/500 m)与降尺度后的高时空分辨率 LAI(1 d/30 m)空间特征,如图 3 所示,二者像元具有一致的空间分布,且高时空分辨率 LAI 提高了空间精度。如图 3(b)所示,高时空分辨率 LAI 较原始 GLASS LAI 展示了更多空间细节(如细小河谷),轮廓与纹理特征更加明显,地物的边界更为清晰,提供了更多的地物空间信息。

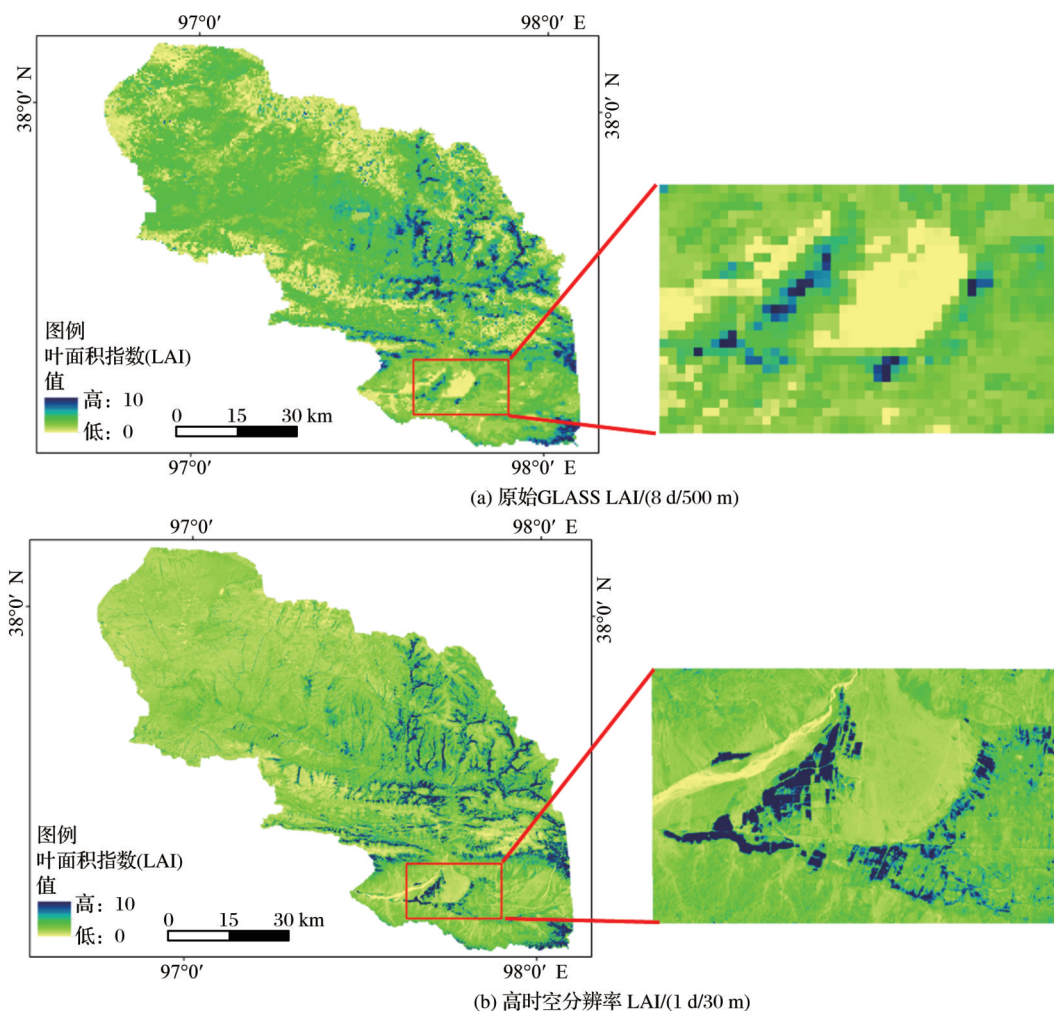


图 3 原始 GLASS LAI 与高时空分辨率 LAI 空间特征对比

Fig.3 Comparison of spatial features between original GLASS LAI and LAI with high spatial-temporal resolution

### 4.2 高时空分辨率 LAI 的时间特征

为验证本研究中的高时空分辨率 LAI 时间变化特征及其准确性,选取了 30 265 个样本点,分别计算了 2014~2018 年高时空分辨率 LAI 和原始 GLASS LAI 的区域月平均 LAI 值和区域 8 日平均 LAI 值,并计算了  $R^2$ 、Pearson 积矩相关系数和 P 值,进行了相关性分析,计算了二者的区域月平均 LAI 差值。

图 4 显示了高时空分辨率 LAI 季节变化特征。如图 4 所示,高时空分辨率 LAI 很好地反映了不同

季节, LAI 值在空间上随着植物生长周期而动态变化,表现为研究区 LAI 值冬季最低(12 月、1 月、2 月)—春季上升(3 月、4 月、5 月)—夏季最高(6 月、7 月、8 月)—秋季下降(9 月、10 月、11 月),这种变化特征在植被覆盖较高的研究区东部最为明显。

图 5(a) 显示了高时空分辨率 LAI 与原始 GLASS LAI 呈现一致的月际变化,其中 1 月最低,7 月或 8 月最高,高时空分辨率 LAI 较原始 GLASS LAI 的差值在  $-0.005 \sim 0.900$  之间,其中春秋两季的差值最小,夏季的差值最大,且在夏季时 GLASS

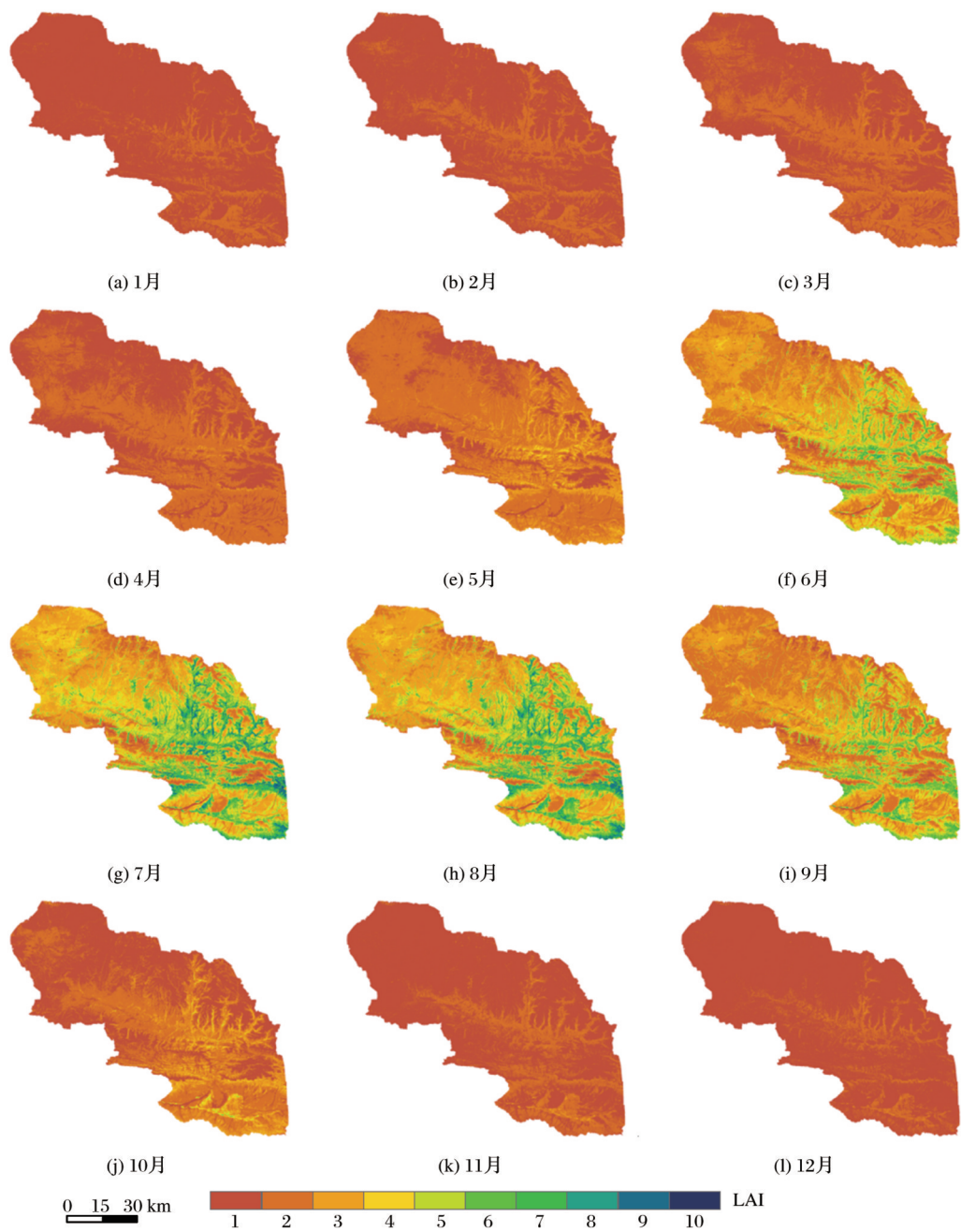


图 4 2014~2018 年季节变化下的高时空分辨率 LAI 空间分布

Fig.4 Spatial distribution of LAI with high spatial and temporal resolution under seasonal variation from 2014 to 2018

LAI的区域月平均LAI值越小,差值越大。图 5(b)和 5(c)显示了高时空分辨率 LAI 与原始 GLASS LAI 的区域月平均 LAI 值和区域 8 日平均 LAI 值存在良好线性关系,表 1 显示了二者与原始 GLASS LAI 相关系数, $R^2$  分别为 0.95、0.94, Pearson 积矩相关系数均为 0.97, P 值均小于 0.01,二者存在显著正相关,再次表明高时空分辨率 LAI 的可靠性。

5 结 论

本数据是 1 d/30 m 时空分辨率的叶面积指数

表 1 高时空分辨率 LAI 与原始 GLASS LAI 相关系数结果

Table 1 Results of correlation coefficient between high temporal and spatial resolution LAI and original GLASS LAI

	$R^2$	Pearson 积矩相关系数	P
区域月平均 LAI 值	0.95	0.97	<0.01
区域 8 日 LAI 平均值	0.94	0.97	<0.01

(LAI),经验证有较高精度,与原始 GLASS LAI 相比,空间上二者具有基本一致的分布特征,且本数据集展示了更为清晰的轮廓与纹理,时间上具有一

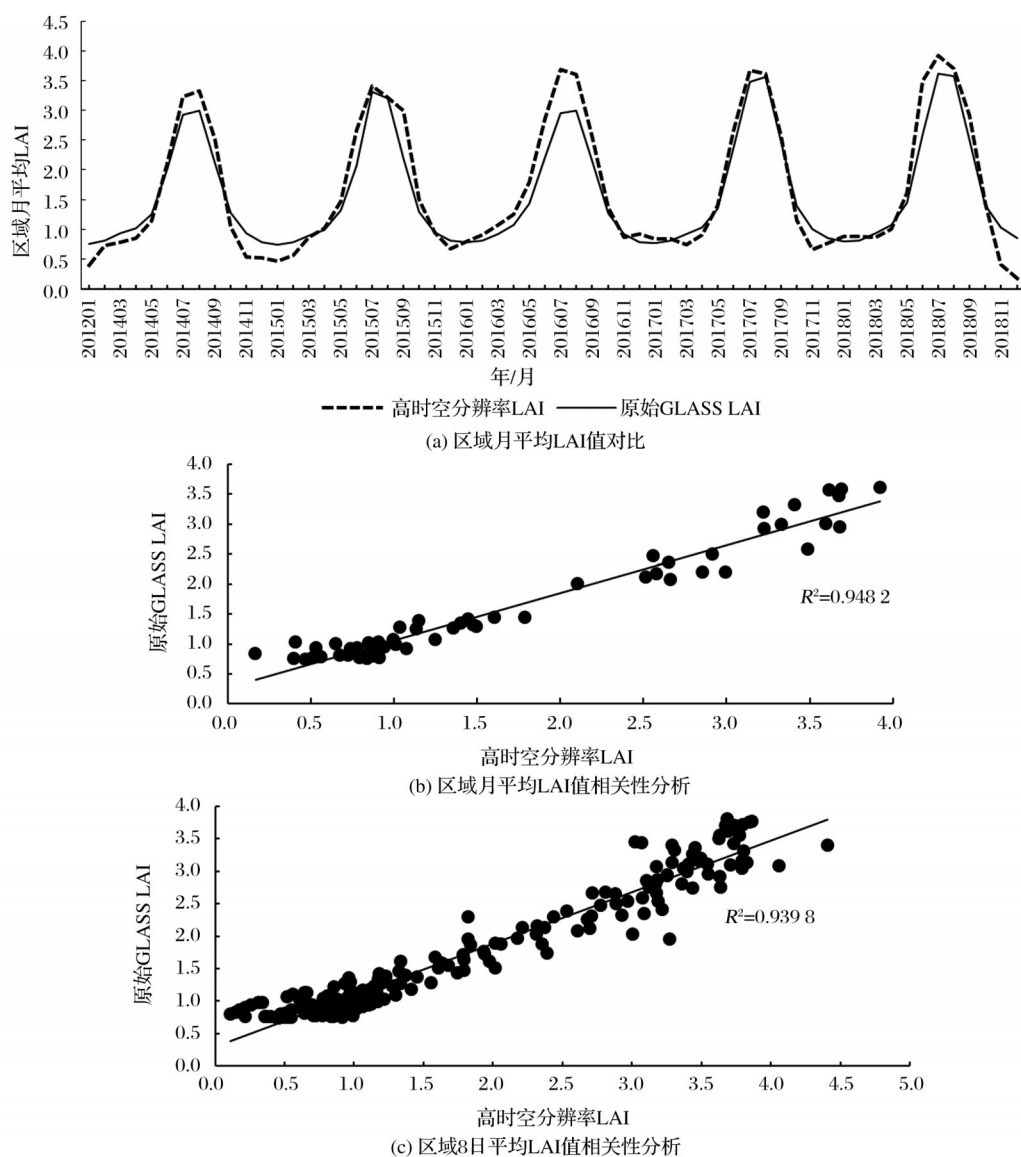


图5 2014~2018年GLASS LAI与高时空分辨率LAI对比分析

Fig.5 Comparative analysis of GLASS LAI and LAI with high spatial-temporal resolution during 2014~2018

致的变化特征,LAI值呈显著正相关。该数据可为巴音河流域提供高时空分辨率LAI,对陆面过程、水文过程等模拟提供重要数据支持,也为巴音河流域地表覆被变化研究提供支撑,对区域生态保护和监测具有重要意义。

#### 参考文献 (references):

- [1] Jiang Haiying, Jia Kun, Zhao Xiang, *et al.* Review on the theory, method, and research progress of Leaf Area Index estimation in mountainous areas [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2020, 24(12): 1433-1449. [江海英, 贾坤, 赵祥, 等. 山地叶面积指数反演理论、方法与研究进展[J]. *遥感学报*, 2020, 24(12): 1433-1449.]
- [2] Sun Kanghui, Zeng Xiaodong, Li Fang. Study on the dominant climatic driver affecting the changes of LAI of ecological fragile zones in China [J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(7): 1873-1892. [孙康慧, 曾晓东, 李芳. 中国生态脆弱区叶面积指数变化的主导气象因子研究[J]. *自然资源学报*, 2021, 36(7): 1873-1892.]
- [3] Kang Y H, Ozdogan M, Gao F, *et al.* A data-driven approach to estimate Leaf Area Index for Landsat images over the contiguous US [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2021, 258: 112383. DOI: 10.1016/j.rse.2021.112383.
- [4] Yang J L, Chen H Y, Borjigin N, *et al.* Validation of the MODIS LAI product in Qinghai Lake Basin combined with field measurements using Landsat-8 OLI data [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(5): 322-331. DOI: 10.1016/j.chnaes. [2017. 09.004.]
- [5] Wang Yuqi, Shen Runping, Huang Anqi, *et al.* Spatiotemporal dynamic analysis of MODIS LAI reconstructed in different cultivation areas in China from 2001 to 2017 [J]. *Journal of Geo-information Science*, 2021, 23(4): 658-669. [王宇琦, 沈

- 润平,黄安奇,等.2001-2017年中国不同耕作区重建MODIS LAI时空动态[J].地球信息科学学报,2021,23(4):658-669.]
- [6] Luo Yuezhen, Pan Yaying, Zhou Yu. Discrepancies of satellite-derived Leaf Area Index products in Zhejiang Province[J]. Research of Agricultural Modernization, 2019, 40(5): 851-861.[骆月珍,潘娅英,周玉.不同叶面积指数遥感产品在浙江省的差异比较研究[J].农业现代化研究,2019,40(5):851-861.]
- [7] Wu Mingquan, Niu Zheng, Wang Changyao. Assessing the accuracy of spatial and temporal image fusion model of complex area in South China[J]. Geo-Information Science, 2014, 16(5): 776-783.[郭明权,牛铮,王长耀.多源遥感数据时空融合模型应用分析[J].地球信息科学学报,2014,16(5):776-783.]
- [8] Brown L A, Meier C, Morris H, *et al.* Evaluation of global Leaf Area Index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation products over North America using copernicus ground based observations for validation data[J]. Remote Sensing of Environment, 2020, 247: 111935. DOI: 10.1016/j.rse.2020.111935.
- [9] Li J, Xiao Z Q. Evaluation of the version 5.0 global land surface satellite (GLASS) Leaf Area Index product derived from MODIS data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2020, 41: 9140-9160. DOI: 10.1080/01431161.2020.1797222.
- [10] Zhao Y, Chen X Q, Smallman T L, *et al.* Characterizing the error and bias of remotely sensed LAI products: An example for tropical and subtropical evergreen forests in South China[J]. Remote Sensing, 2020, 12(19): 3122. DOI: 10.3390/rs12193122.]
- [11] Fang H L, Zhang Y H, Wei S S, *et al.* Validation of global moderate resolution Leaf Area Index (LAI) products over croplands in Northeastern China[J]. Remote Sensing of Environment, 2019, 233: 111377. DOI: 10.1016/j.rse.2019.111377.
- [12] Li X L, Lu H, Yu L, *et al.* Comparison of the spatial characteristics of four remotely sensed Leaf Area Index products over China: Direct validation and relative uncertainties[J]. Remote Sensing, 2018, 10(1): 148. DOI: 10.3390/rs10010148.
- [13] Xiao Z Q, Liang S L, Sun R, *et al.* Estimating the fraction of absorbed photosynthetically active radiation from the MODIS data based GLASS Leaf Area Index product[J]. Remote Sensing of Environment, 2015, 171: 105-117. DOI: 10.1016/j.rse.2015.10.016.
- [14] Xiao Z Q, Liang S L, Jiang B. Evaluation of four long time-series global Leaf Area Index products[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2017, 246: 218-230. DOI: 10.1016/j.agrformet.2017.06.016.
- [15] Xu B D, Li J, Park T, *et al.* An integrated method for validating long-term Leaf Area Index Products using global networks of site-based measurements[J]. Remote Sensing of Environment, 2018, 209: 134-151. DOI: 10.1016/j.rse.2018.02.049.
- [16] Gao F, Masek J, Schwaller M, *et al.* On the blending of the landsat and MODIS surface reflectance: predicting daily landsat surface reflectance[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006, 44(8): 2207-2218. DOI: 10.1109/TGRS.2006.872081.]
- [17] Zhu X L, Chen J, Gao F, *et al.* An enhanced spatial and temporal adaptive reflectance fusion model for complex heterogeneous regions[J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114(11): 2610-2623. DOI: 10.1016/j.rse.2010.05.032.
- [18] Zhu X L, Helmer E H, Gao F, *et al.* A flexible spatiotemporal method for fusing satellite images with different resolutions[J]. Remote Sensing of Environment, 2016, 172: 165-177. DOI: 10.1016/j.rse.2015.11.016.
- [19] Meng L H, Liu H J, Zhang X L, *et al.* Assessment of the effectiveness of spatiotemporal fusion of multi-source satellite images for cotton yield estimation[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2019, 162: 44-52. DOI: 10.1016/j.compag.2019.04001.
- [20] Tao G F, Jia K, Wei X Q, *et al.* Improving the spatiotemporal fusion accuracy of fractional vegetation cover in agricultural regions by combining vegetation growth models[J]. International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation, 2021, 101: 102362. DOI: 10.1016/j.jag.2021.102362.
- [21] Yan Y C, Wu C J, Wen Y Y. Determining the impacts of climate change and urban expansion on net primary productivity using the spatio-temporal fusion of remote sensing data[J]. Ecological Indicators, 2021, 127: 107737. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107737.
- [22] Zhou X J, Wang P X, Tansey K, *et al.* Reconstruction of time series leaf area index for improving wheat yield estimates at field scales by fusion of Sentinel-2, 3 and MODIS imagery[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2020, 177: 105692. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105692.
- [23] Han L J, Ding J L, Zhang J Y, *et al.* Precipitation events determine the spatiotemporal distribution of playa surface salinity in arid regions: Evidence from satellite data fused via the enhanced spatial and temporal adaptive reflectance fusion model[J]. Catena, 2021, 206: 105546. DOI: 10.1016/j.catena.2021.105546.
- [24] Xiao D Y, Niu H P, Guo F C, *et al.* Monitoring irrigation dynamics in paddy fields using spatiotemporal fusion of Sentinel-2 and MODIS[J]. Agricultural Water Management, 2022, 263: 107409. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107409.
- [25] Li Chao, Li Xuemei, Tian Yalin, *et al.* Time and space fusion model comparison of temperature vegetation drought index[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2020, 35(4): 832-844.[李超,李雪梅,田亚林,等.温度植被干旱指数时空融合模型对比[J].遥感技术与应用,2020,35(4):832-844.]
- [26] Chen B, Huang B, Xu B. Comparison of spatiotemporal fusion models: A review[J]. Remote Sensing, 2015, 7(2): 1798-1835. DOI: 10.3390/rs70201798.
- [27] Chen Qiying, An Yulun, Xi Shijun. Applicability analysis of spatio-temporal Fusion model of multi-source remote sensing data in Karst Plateau[J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(16): 6538-6546.[陈啟英,安裕伦,奚世军.喀斯特高原区多源遥感数据时空融合模型适用性分析[J].科学技术与工程, 2020, 20(16): 6538-6546.]
- [28] Abdollah J, Tim M, Thomas V N, *et al.* Blending Landsat and MODIS data to generate multispectral indices: A comparison of "index-then-blend" and "blend-then-index" approaches[J]. Remote Sensing, 2014, 6(10): 9213-9238. DOI: 10.3390/rs6109213.



- [29] Duan Hongteng, Wu Faqi, Yang Yifan, *et al.* Land use change and driving force analysis of Bayin River Basin in the past 10 years[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2020, 27(2):172-177.[段红腾, 吴发启, 杨一凡, 等. 近10年巴音河流域土地利用变化及驱动力分析[J]. 水土保持研究, 2020, 27(2):172-177.]
- [30] Wen Guangchao, Wang Wenke, Duan Lei, *et al.* Quantitatively evaluating exchanging relationship between river water and groundwater in Bayin River Basin of Northwest China using hydrochemistry and stable isotope[J]. Arid Land Geography, 2018, 41(4):734-743.[文广超, 王文科, 段磊, 等. 基于水化学和稳定同位素定量评价巴音河流域地表水与地下水转化关系[J]. 干旱区地理, 2018, 41(4):734-743.]
- [31] Liu Yuan, Zhou Maichun. Comparison of MODIS, CYCLOPES and GLASS LAI over Hanjiang River basin[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2018, 30(1):14-21.[刘远, 周买春. MODIS, CYCLOPES 和 GLASS 3 种 LAI 产品在韩江流域的对比[J]. 国土资源遥感, 2018, 30(1):14-21.]
- [32] Ma T X, Duan Z, Li R K, *et al.* Enhancing SWAT with remotely sensed LAI for improved modelling of eco-hydrological process in subtropics[J]. Journal of Hydrology, 2019, 570: 802-815. DOI:10.1016/j.jhydrol.2019.01.024.
- [33] Hang Yanhong, Su Huan, Yu Ziyang, *et al.* Estimation of rice leaf area index combining UAV spectrum, texture features and vegetation coverage [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(9): 64-71.[杭艳红, 苏欢, 于滋洋, 等. 结合无人机光谱与纹理特征和覆盖度的水稻叶面积指数估算[J]. 农业工程学报, 2021, 37(9): 64-71.]
- [34] Han Jiwei, Kong Fanzhe, Song Xiaomeng, *et al.* Effectiveness analysis of different interpolation methods for cross section drawing[J]. Hydrology, 2012, 32(1):65-68.[韩继伟, 孔凡哲, 宋晓猛, 等. 不同插值方法绘制断面图效果分析[J]. 水文, 2012, 32(1):65-68.]
- [35] Dong Jianwei, Chen Yanmei, Meng Pan, *et al.* The application of regression analysis and RBF neural network based on MIV in the related factors analysis of PM<sub>2.5</sub> [J]. Journal of Mathematics in Practice and Theory, 2017, 47(10):127-136.[董健卫, 陈艳美, 孟盼, 等. 回归分析与基于 MIV 的 RBF 神经网络在 PM<sub>2.5</sub> 的相关因素分析中的应用[J]. 数学的实践与认识, 2017, 47(10):127-136.]
- [36] Xiang Yang, Xiao Zhiqiang, Liang Shunlin, *et al.* Validation of Global Land Surface Satellite (GLASS) Leaf Area Index product [J]. Journal of Remote Sensing, 2014, 18(3): 573-596.[向阳, 肖志强, 梁顺林, 等. GLASS 叶面积指数产品验证[J]. 遥感学报, 2014, 18(3): 573-596.]
- [37] Xiao Z Q, Liang S L, Wang J D, *et al.* Long-Time-Series Global Land Surface Satellite Leaf Area Index product derived from MODIS and AVHRR surface reflectance [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2016, 54(9):5301-5318. DOI:10.1109/TGRS.2016.2560522.
- [38] Sun Chenxi, Liu Liangyun, Guan Linlin. Validation of the GLASS LAI products in Xilinhot Grassland [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2013, 28(6):949-954.[孙晨曦, 刘良云, 关琳琳. 内蒙古锡林浩特草原 GLASS LAI 产品的真实性检验[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(6): 949-954.]

## High Spatial and Temporal Resolution Leaf Area Index Dataset of Bayin River Basin

Fu Di<sup>1,2</sup>, Jin Xin<sup>1,2,3</sup>, Jin Yanxiang<sup>1,2,3</sup>, Mao Xufeng<sup>1,2,3</sup>, Zhai Jingya<sup>1,2</sup>

(1.School of the Geographical Science, Qinghai Normal University, Xining 810016, China;

2.Key Laboratory of Physical Geography and Environmental Processes, Xining 810016, China;

3.Academy of Plateau Science and Sustainability, Xining 810016, China)

**Abstract:** Leaf Area Index (Leaf Area Index, LAI) is one of the important indicators to characterize the changes of land surface characteristics, as well as an important parameter of land surface and hydrological models. This dataset was based on GLASS LAI (8 d/500 m), combined with MOD13A1, MYD13A1 and Landsat 7-ETM+, Landsat 8-OLI data. First, ESTARFM model was used to synthesize LAI at 8 d/30 m resolution, and then LAI with high spatial and temporal resolution (1 d/30 m) was obtained by time linear interpolation. The spatial and temporal characteristics of LAI with high spatial and temporal resolution (1 d/30 m) were compared based on GLASS LAI products to verify the accuracy of the data set. The results show that the distribution features of this data set are basically consistent with that of GLASS LAI in space, and the contour and texture are clearer. In terms of time, they have the same intermonthly variation characteristics, and the regional monthly average LAI and regional 8-day average LAI estimated by 1 d/30 m LAI have a significant positive correlation with the original GLASS LAI,  $R^2$  are 0.95 and 0.94, respectively. Pearson product moment correlation coefficients are 0.97, P values are all less than 0.01.

**Key words:** GLASS LAI; ESTARFM model; High spatial and temporal resolution; Dataset