

引用格式: Jiao Xuemin, Zhang Helin, Xu Fubao, *et al.* Analysis of the Spatio-temporal Variation in FPAR of the Tibetan Plateau from 1982 to 2015[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2020, 35(4): 950-961. [焦雪敏, 张赫林, 徐富宝, 等. 青藏高原1982~2015年FPAR时空变化分析[J]. 遥感技术与应用, 2020, 35(4): 950-961.] doi:10.11873/j.issn.1004-0323.2020.4.0950

## 青藏高原1982~2015年FPAR时空变化分析

焦雪敏<sup>1,2</sup>, 张赫林<sup>5</sup>, 徐富宝<sup>6</sup>, 王 岩<sup>2</sup>, 彭代亮<sup>2</sup>, 李存军<sup>3</sup>

徐希燕<sup>4</sup>, 范海生<sup>7</sup>, 黄运新<sup>1</sup>

(1湖北大学资源环境学院 区域开发与环境响应湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430062,;

2. 中国科学院遥感与数字地球研究所 数字地球重点实验室, 北京 100094,;

3. 北京市农林科学院 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097;

4. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029;

5. 北京师范大学 北京市陆表遥感数据产品工程技术研究中心, 北京 100875;

6. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041;

7. 广东欧比特人工智能研究院有限公司卫星大数据事业部, 广东 珠海 519080)

**摘要:** 植被吸收利用太阳光合有效辐射比率反映了植被固碳释氧能力, 根据青藏高原 GIMMS NDVI3g(1982~2015年)和 MODIS NDVI(2001~2015年)数据, 采用非线性半理论半经验模型进行 FPAR 反演及时空变化分析。结果表明: ①2001~2015年 GIMMS NDVI3g 和 MODIS NDVI 反演 FPAR 在空间分布上具有较高的一致性, 相关系数为 0.82( $P < 0.01$ ), 年际变化趋势一致至少 6 年的区域占 80%; ②青藏高原 FPAR 受坡度和海拔影响较大, 其中 15~35 坡度 FPAR 变化最快, 700~2 100 m 海拔区间 FPAR 值最大; 不同坡向对应的 FPAR 除南坡方向偏低外其他方向差异不大。③1982~2015 年青藏高原四季 FPAR 时空变化研究中, 冬季 FPAR 年际变化最明显, 约 78.5% 的区域表现为增长趋势; 秋季 FPAR 下降区域最多, 但超过 71.5% 区域变化不显著; ④基于 MODIS NDVI 和 GIMMS NDVI 两数据反演的所有植被类型的 FPAR 都在 2012 年间出现小幅度下降趋势, 且不同植被类型 FPAR 的年际变化趋势各不相同。

**关键词:** 青藏高原; NDVI; FPAR; 植被; 空间分布; 年际变化

**中图分类号:** TP751 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2020)04-0950-12

### 1 引言

光合有效辐射吸收系数(Fraction of absorbed Photosynthetically Active Radiation, FPAR)是指植被吸收的光合有效辐射占太阳总入射的比例, 反映植被进行光合作用能力的强弱<sup>[1-2]</sup>。地表植被将太阳辐射能转为化学能储存于自身体内的过程, 不仅维持自身的生长, 同时也为生物圈中其他生物活动

提供了物质、能量和生存环境<sup>[3-4]</sup>。同时, 辐射产生的热量直接影响地球表层温度, 进而影响植物生长发育速度和繁殖水平, 并最终影响植被的空间分布格局<sup>[5-6]</sup>。植物光合作用是太阳能与生物圈建立关联并进入自然生态链条的唯一环节, 是食物链运转的基础, 对维持生态系统平衡起着至关重要的作用<sup>[7-8]</sup>。

收稿日期: 2019-05-31; 修订日期: 2020-07-09

基金项目: 中国科学院 A 类战略性先导科技专项“地球大数据科学工程”(XDA19070203、XDA19080304), 国家自然科学基金项目(41571423)资助。

作者简介: 焦雪敏(1994—), 女, 河南焦作人, 硕士研究生, 主要从事生态遥感监测研究。E-mail: Jiaoxm1117@163.com

通讯作者: 黄运新(1963—), 男, 湖北武汉人, 教授, 主要从事生态建模研究。E-mail: y.huang@hubu.edu.cn

基于遥感技术的植被动态监测有利于发现植被在空间上的差异性和时间序列上的连续性,而利用植被指数和植被类型遥感影像反演FPAR的经验统计模型方法可以估算全球尺度FPAR<sup>[9-10]</sup>。很多文献表明基于NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)估算FPAR的准确性较高,其中,Wiegand等<sup>[11]</sup>测量玉米冠层的FPAR并与基于SPOT数据计算的NDVI、EVI、RVI、SAVI等植被指数进行相关性分析的研究中发现FPAR和NDVI的相关性最高( $R^2=0.973$ )。Goward等<sup>[12]</sup>根据模型模拟草本植被冠层FPAR发现NDVI与吸收光合有效辐射(APAR)之间的相关性非常好( $R^2=0.99$ )。为此,众多学者通过NDVI分析不同地区植被FPAR的时空变化。

例如,章金城等<sup>[13]</sup>选取2006~2015年MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)NDVI遥感数据对秦巴山区植被FPAR像元尺度的时空变化特征进行了研究,并分析了不同植被类型FPAR年际和年内变化趋势。考虑到FPAR受外界多变环境因素的干扰程度较大,而通过增加样本变量可以提高FPAR估算结果的精度<sup>[14]</sup>。GIMMS(Global Inventor Modeling and Mapping Studies)NDVI 3 g空间分辨率偏低,但时间序列较长。了解MODIS NDVI和GIMMS NDVI两组数据集一致性的强弱是延续地表植被观测时长的关键<sup>[15]</sup>。杜加强等<sup>[16]</sup>利用青藏高原2000~2006年重叠时间段的GIMMS NDVI 3 g和MODIS NDVI数据,对比分析了两组数据的数值差异和动态变化,发现82%区域显著一致,不一致的地区主要集中在北部荒漠区域,而GIMMS NDVI 3 g在反映植被动态变化方面明显好于MODIS NDVI。Fensholt等<sup>[17]</sup>基于GIMMS NDVI 3 g与MODIS NDVI数据对全球尺度植被年际变化的趋势进行了分析,发现全球大部分陆地生态系统的年际和季节NDVI指标变化方向相似。

由于青藏高原地区是我国太阳辐射最强的区域,同时也是世界上高山植物区系最丰富的区域,研究该区域植被FPAR的时空变化具有重要价值<sup>[18-19]</sup>。本文基于2001~2015年青藏高原MODIS NDVI数据和同期的GIMMS NDVI3g数据,利用半理论半经验的非线性模型反演FPAR,对比分析2001~2015年MODIS FPAR和GIMMS FPAR的时空差异,并对高原1982~2015年(34 a)FPAR的

年际变化以及在空间上的分布情况进行分析。

## 2 数据与方法

### 2.1 研究区概况

青藏高原光照充足、云层稀薄的特点使得高原大气对太阳光产生的吸收、折射、反射和散射作用小。而且,该区域日照时间长、太阳高度角大的优点促使较多辐射到达地面,为该区域植被的生长提供了更多的光能<sup>[20-21]</sup>。此外,高原各区域环境条件复杂多变,生长在不同地形的植被群落所处的栖息地差异较大。在漫长的发展演替过程中,植被产生了较强的进化适应能力,能够有效对抗诸如高温、干旱、土壤养分匮乏等恶劣环境因子的迫害。与此同时,植被类型也日益增多,珍稀物种不计其数,是全球生物多样性最丰富的地区之一<sup>[22-23]</sup>。目前,青藏高原多处区域建立自然保护区以维护高原系统的生态安全,也为植被的生长保留了原始的“环境本底”<sup>[24-25]</sup>。

### 2.2 数据来源与处理

本文所采用的数据包括:2001~2015年的MOD13Q1(250 m)NDVI和MCD12Q1(500 m)土地覆盖数据(<https://earthexplorer.usgs.gov/>)、1982~2015年8 km空间分辨率的GIMMS NDVI3g数据(<https://ecocast.arc.nasa.gov/data/pub/gimms/3g.v1/>)、2009年30 m数字高程模型DEM(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model, ASTER GDEM)V1数据(<http://www.gscloud.cn>)。

采用MRT数据处理软件对MODIS数据进行拼接、重投影和格式转换处理,运用ArcGIS10.4软件对DEM影像数据进行镶嵌。利用青藏高原矢量文件对原始数据进行裁剪,并对MODIS、DEM数据进行投影坐标转换和重采样处理,使其与GIMMS NDVI3g地理信息统一。最后,对各年24期GIMMS NDVI3g和23期MODIS NDVI影像数据进行Savitzky-Golay平滑滤波处理以消除噪音的影响<sup>[26]</sup>。

### 2.3 研究方法

根据MCD12Q1植被覆盖类型数据统计常绿阔叶林、落叶阔叶林、常绿针叶林、混交林、草地、灌丛、农田和稀疏植被各年、各季节对应的GIMMS NDVI(1982~2015年)和MODIS NDVI(2001~

2015年)。通过98%、2%的累积频率分别计算不同植被类型的NDVI、SR的最大值( $NDVI_{max}$ 、 $SR_{max}$ )和最小值( $NDVI_{min}$ 、 $SR_{min}$ ),其中, $SR=(1+NDVI)/$

$(1-NDVI)$ ,  $FPAR_{max}=0.95$ ,  $FPAR_{min}=0.001$ 。运用非线性半理论半经验模型<sup>[27-28]</sup>,即公式(1)~(3)反演青藏高原FPAR值,计算公式如下:

$$FPARSR = \frac{(SR - SR_{min})(FPAR_{max} - FPAR_{min})}{SR_{max} - SR_{min}} + FPAR_{min} \quad (1)$$

$$FPARNDVI = \frac{(NDVI - NDVI_{min})(FPAR_{max} - FPAR_{min})}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} + FPAR_{min} \quad (2)$$

$$FPAR = \frac{FPARSR + FPARNDVI}{2} \quad (3)$$

根据模型计算得到的FPAR,运用平均值法、一元线性回归法逐像元对比分析2001~2015年MODIS FPAR和GIMMS FPAR的空间分布、年际变化及不同植被类型年际变化差异。基于1982~2015年GIMMS FPAR,采用趋势分析法对不同季节FPAR的年际变化情况进行分析,并计算每年各季均值分析其空间变化。各季FPAR通过对每年春(3~5月)、夏(6~8月生长季)、秋(9~11月)、冬(12~2月)相应月份取平均得到,植被类型选取2001~2015年未发生变化的区域。基于2009年DEM数据以50 m为起始高程点,以100 m为间隔对青藏高原海拔进行划分,运用ARCGIS10.4软件分区统计不同海拔区间各季FPAR均值并分析其随着海拔高度的垂直分异变化。同时提取坡度和坡向信息,统计FPAR在不同坡度和坡向上的分布变化情况。

### 3 结果与分析

#### 3.1 空间分析

##### 3.1.1 2001~2015年GIMMS FPAR和MODIS FPAR空间对比

2001~2015年MODIS FPAR和GIMMS FPAR两组数据空间分布的相关系数为0.81( $P < 0.01$ ),RMSE为0.09(图1(a)~(c))。该结果显示基于GIMMS NDVI和MODIS NDVI反演的FPAR在空间分布上较为一致,都呈现出从西北向东南方向逐级递减的趋势;两组数据FPAR在中西区域较小,东部区域都呈现出从北到南逐渐增大趋势,两组数据的FPAR高值部分均分布在东南区域,但GIMMS FPAR的高值区域分布面积略多于MODIS FPAR。

对比分析GIMMS FPAR和MODIS FPAR,可以在保证植被空间分布准确的基础上延长时间序列。但由于两组数据空间分辨率差异较大,在统一影像的像元大小后会导致MODIS NDVI部分非植被像元值缺失,在对比分析两组数据FPAR的时空

变化差异中忽略该部分像元。

##### 3.1.2 1982~2015年各季节FPAR空间变化分析

1982~2015年青藏高原各季FPAR均值的空间分布显示(图2):FPAR从西北向东南逐渐增加,春、夏、秋、冬各季FPAR在0.6~1区间的像元全部分布在东南角,呈现出东南部高于西北部的分布状态。东南方向植被类型为林地,其冠层截获太阳辐射多,FPAR值相应较高。其中,夏季光照强度大,温度升高加速了植被光合作用速率,提高了植被对光能的利用转化效率,故该季节FPAR在0.6~1范围内分布面积最大,占研究区域的13.8%;秋季植被开始落叶,叶片数量的减少降低了植被生长对光合有效辐射的利用,故FPAR在0.6~1区间的面积明显缩减,占研究区域的6.8%;春、冬两季植被覆盖度偏低,空间分布差异偏小。其中,冬季FPAR分布在0~0.2区间的像元个数占比最大,占研究区域总像元的85.72%。

##### 3.1.3 不同地形的FPAR分布

分析春、夏、秋、冬各季FPAR均值在不同坡度的变化情况发现(图3(a)):夏季FPAR在任何坡度上都远大于其他季节,高绿度覆盖提高了植被光合有效辐射吸收比例。夏季FPAR随坡度变化程度也是最大的。坡度较小区域植被类型多为草地,植被叶片小导致在生长周期内的光合有效辐射利用率偏低。随着坡度的增加FPAR不断加大,当坡度高于35°之后,增长趋势趋于平缓。秋季FPAR小于夏季,但是该季节FPAR随坡度变化程度大于夏季,且这种差异在坡度15~35°之间最大。春冬两季FPAR在0~25°坡度之间春季偏高,当坡度高于25°后,冬季FPAR随坡度增长幅度大于春季,且随着坡度的增加FPAR最大值逐渐超过春季,差异也逐渐增大。

由图3(b)可得:FPAR年均值及春、夏、秋、冬各季均值在平坡区域最小,而其他坡向上的分布值差别不大,其中南坡FPAR略小主要是因为生长在南坡方向上的植被接收的太阳辐射量较多,光照强



度偏大,土壤温度较高,致使土壤有机质矿化和无机盐溶解的速度加快,土壤水分保持量偏低和土壤养分逐渐匮乏影响了植物的蒸腾和根部呼吸作用速率所致。此外,南坡方向太阳高度角也略大于其他坡向,致使太阳直射强而穿透力变小,反射率逐

渐增强而降低了FPAR值<sup>[29-30]</sup>。观察各季FPAR季均值可以看出FPAR在春、夏、秋、冬四季随坡向的变化趋势与全年不同坡向上的变化趋势一致,其中夏季FPAR明显高于其他季节,秋季明显高于春季和冬季,而冬季和春季几乎同步。

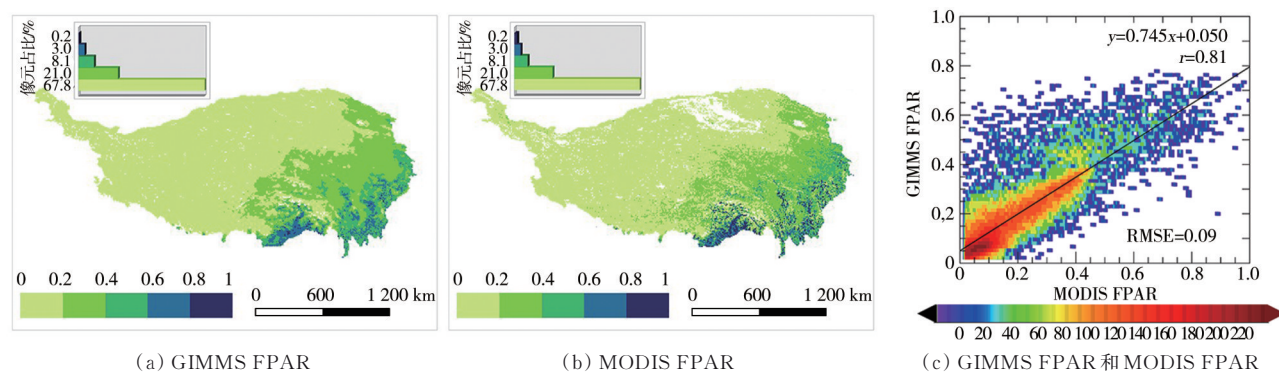


图1 GIMMS 和 MODIS FPAR 空间分布对比

Fig.1 Comparisons of spatial distribution between GIMMS and MODIS FPAR

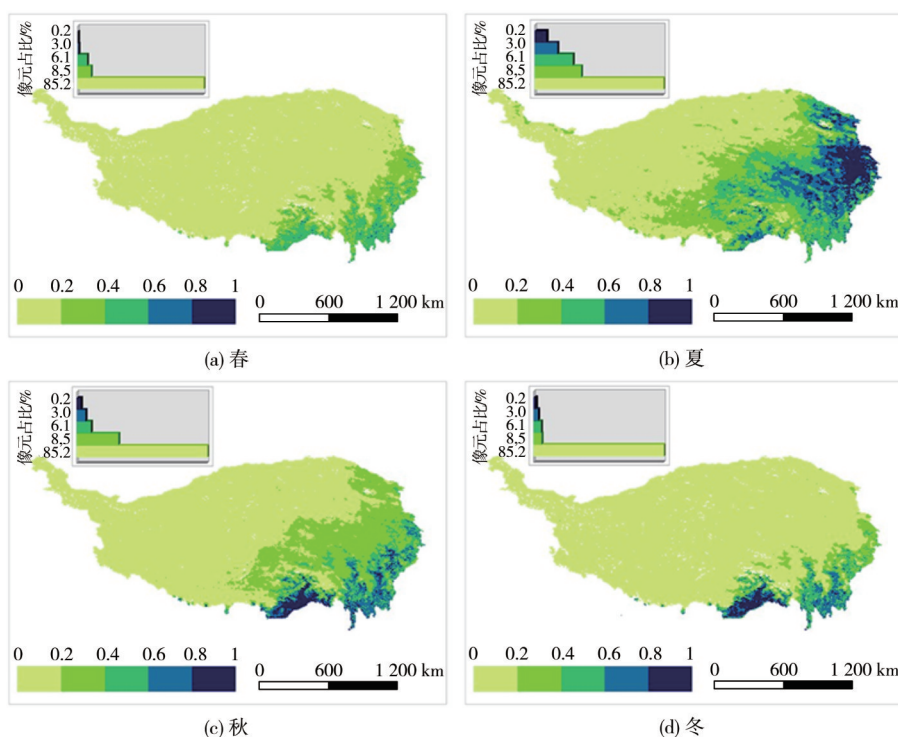


图2 1982~2015年四季GIMMS FPAR空间分布

Fig.2 Spatial distributions of GIMMS FPAR in four seasons from 1992 to 2015

从青藏高原FPAR随海拔变化的结果显示(图3(c)):全年以及春、夏、秋、冬各季FPAR均值在600 m之前随海拔升高逐渐增大,之后呈现不规则波动,700~1100 m处FPAR最高,随后逐渐降低。当海拔处于2700~3800 m之间时,FPAR年均值随海拔升高而增大;当海拔在3800~4100 m之间时,FPAR年均值总的趋势是随海拔的升高而减小,

但在海拔4100 m处有小幅回升,且随着高程的增加,FPAR年均值下降趋势逐渐加大。高于6000 m之后FPAR年均值下降幅度减缓,逐渐趋近于0。

对比四季FPAR随高程变化发现:小于2700 m时,FPAR季均值大小排序依次为:秋、冬、夏、春,虽然四季变化趋势一致,但各季节FPAR差异较大,其中夏季最大,秋季其次,春季和冬季差异不大。

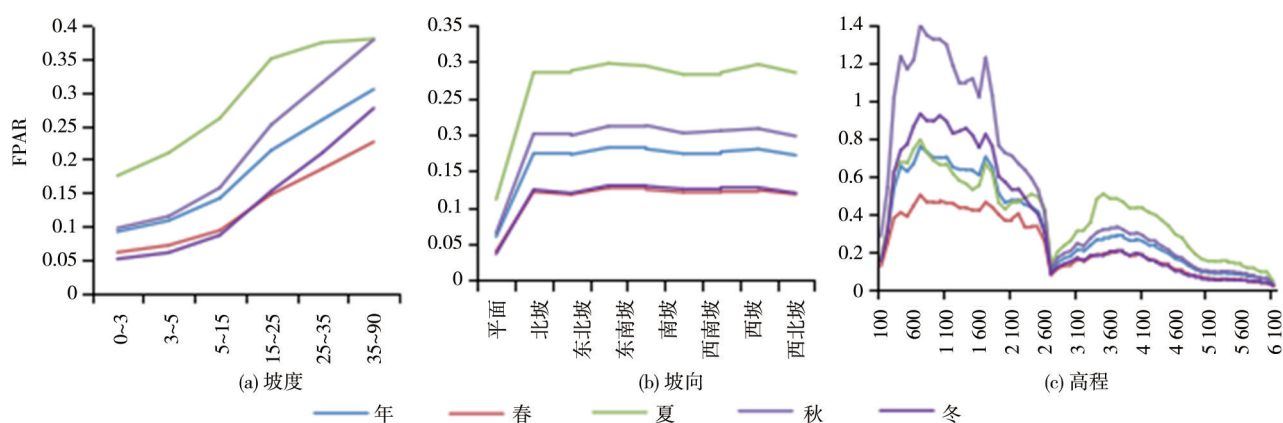


图3 不同地形参数对应的 FPAR 变化

Fig.3 Changes in FPAR under different terrain parameters

在 2 700~4 200 m 区间冬季 FPAR 略高于春季,而超过 4 200 m 后,春季略高于冬季。整体来看, FPAR 各季节变化差异主要集中体现在高程 700~1 800 m 和 3 400~4 800 m 两个区间。

### 3.2 时间序列分析

#### 3.2.1 2001~2015 年 GIMMS FPAR 和 MODIS FPAR 年际序列空间比较

青藏高原 FPAR 年际变化率空间分布图中(图 4(a)、(b)), GIMMS FPAR 和 MODIS FPAR 年际

变化率在 0~0.001 区间占比分别为 43.8% 和 55.5%, 在 -0.001~0 区间占比分别为 28.3% 和 25.9%; 两组数据 FPAR 年际变化率在小于 -0.004 的分布区域最少, 分别占 5.9% 和 1.5%。 FPAR 年际变化率在空间分布上都表现为北部多为正值, 呈现增长趋势, 中部偏西南多为负值, 呈现下降趋势。但在东南区域, 两组数据的 FPAR 年际变化空间分布上差异较大, GIMMS FPAR 呈现较高度度的下降趋势, 而 MODIS FPAR 呈现较高度度增加趋势。

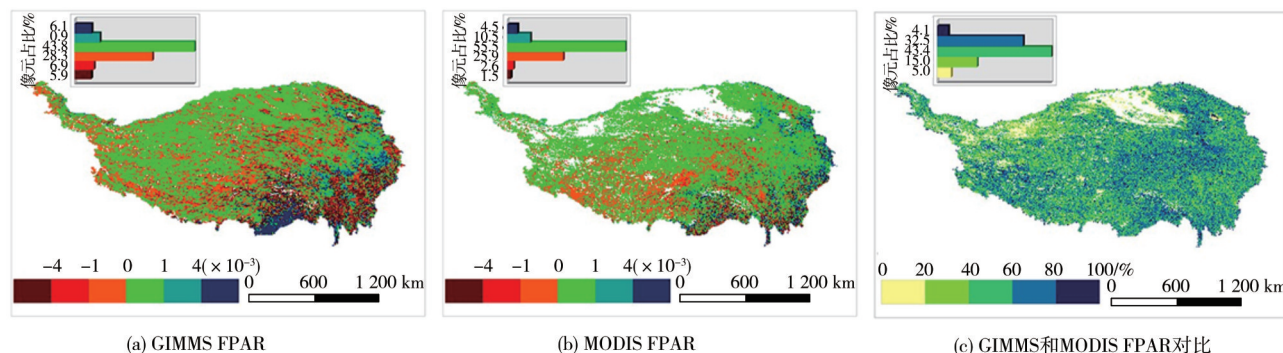


图4 GIMMS and MODIS FPAR 年际变化率对比

Fig.4 Comparisons of inter-annual rate of change between GIMMS and MODIS FPAR

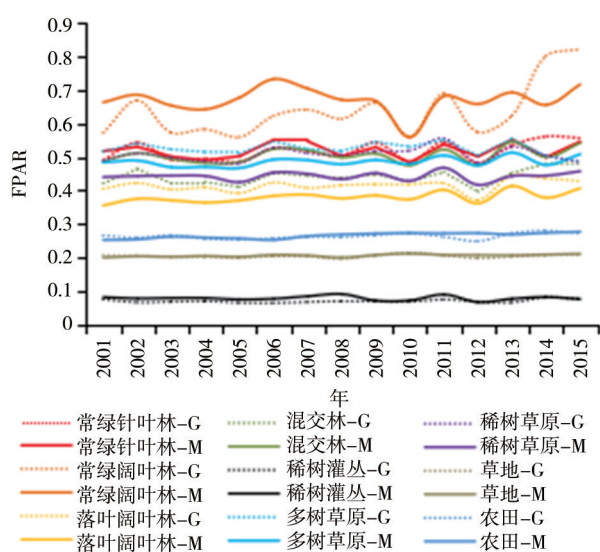
图 4(c) 表示 2001~2015 年 GIMMS FPAR 和 MODIS FPAR 时间序列年际变化趋势一致情况在 15 a 中所占比例, 百分比越大, 表明两组数据的 FPAR 年际变化年份一致性越高。其中, GIMMS FPAR 和 MODIS FPAR 年际变化趋势一致性大于 60% 的区域占研究区的 36.6%, 一致性大于 40% 的区域占研究区的 80%。在时间序列变化上, 基于 GIMMS NDVI 反演 FPAR 的年际变化率在空间分布上大致呈现出与 MODIS FPAR 年际变化率空间分布相同的特征, 但 GIMMS NDVI 在反映 FPAR 减小趋势的像元更多, 影响部分区域年际变化方向

的判断。

#### 3.2.2 2001~2015 年不同植被类型 FPAR 年际变化

2001~2015 年青藏高原不同植被类型 GIMMS FPAR 和 MODIS FPAR 年际变化趋势较一致的植被类型为落叶针叶林、落叶阔叶林、稀树灌丛、稀树草原和农田(图 5)。两组数据在反映混交林、多树草原、草地 3 种植被 FPAR 年际变化趋势时波动频率较为一致, 但 MODIS FPAR 略微大于 GIMMS FPAR。常绿阔叶林的 FPAR 值最大, 波动程度较高, 年际变化较为明显, 两组数据差值偏大, 仅在 2009~2011 年间变化程度一致。而农田、草地和稀

疏灌丛FPAR较小,波动程度较低,年际变化不明显。常绿针叶林、稀树草原和混交林三种植被FPAR相近,差异较小。整体来看,两组数据所有植被类型FPAR在2012年都出现了降低趋势,不同植被类型之间FPAR存在明显差异,但两组数据反映FPAR年际变化趋势较同步。



(M代表MODIS FPAR年际变化曲线,G代表GIMMS FPAR年际变化曲线,不同颜色代表不同植被类型FPAR值)

图5 不同植被类型GIMMS和MODIS FPAR的年际变化  
(M stands for MODIS FPAR, G stands for GIMMS FPAR, and different colors represent different vegetation types)

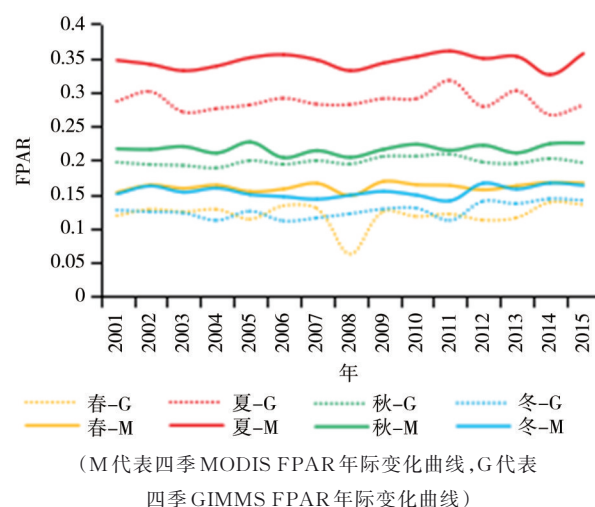
Fig.5 The inter-annual variation in GIMMS and MODIS FPAR for different types of vegetation

虽然两组数据的FPAR在不同植被类型年际变化曲线中呈现较为一致的波动,但MODIS FPAR略高于GIMMS FPAR,即按GIMMS NDVI计算得到的FPAR同MODIS NDVI数据相比整体上会偏低。

### 3.2.3 2001~2015年MODIS FPAR和GIMMS FPAR四季年际变化比较

从2001~2015年春、夏、秋、冬各季FPAR年际变化曲线图中可以发现(图6):在4个季节里,各季在2008年均出现轻微下降趋势,各年GIMMS FPAR总体上小于MODIS FPAR,全年FPAR最大值、最小值出现的年份相同,变化趋势基本一致,说明GIMMS NDVI3g与MODIS NDVI两组数据集在反映FPAR年际变化趋势方面较为一致。夏季两组数据FPAR均值相差最大,差值最大出现在2012和2015年,其中MODIS FPAR分别比GIMMS FPAR大0.071和0.076。春季在2008年差

值最大,MODIS FPAR比GIMMS FPAR大0.086,在2010和2013年MODIS FPAR比GIMMS FPAR都大0.047。冬季在2004年差值最大为0.47。秋季各年差值较小,多年都在0.01~0.03之间波动,两组数据一致性最高。



(M代表四季MODIS FPAR年际变化曲线,G代表四季GIMMS FPAR年际变化曲线)

图6 4个季节GIMMS FPAR和MODIS FPAR的年际变化  
(M stands for MODIS FPAR, G stands for GIMMS FPAR)

Fig.6 The inter-annual change in the GIMMS FPAR and MODIS FPAR in four seasons

基于GIMMS3g NDVI和MODIS NDVI两组数据的各季FPAR年际变化趋势表现为MODIS FPAR略高于GIMMS FPAR。因此,基于1982~2015年GIMMS FPAR研究青藏高原光合有效辐射吸收系数会略低,但增加年际时长可以提高年际变化率的准确性和真实性。

### 3.2.4 1982~2015年GIMMS FPAR年际变化

FPAR年际变化率为正表示FPAR呈现增长趋势,变化率为负表示FPAR呈现减小趋势,且变化率的绝对值越大表明FPAR在时间序列上的变化幅度越大。从青藏高原FPAR变化率图(图7(a))中可以看出:1982~2015年青藏高原FPAR年际变化率在0~0.001区间最多,占比为51.6%。FPAR年际变化率在-0.001~0区间占比为32.4%,主要分布在青藏高原中部、南部和西部边缘区域。图7(b)中显著变化面积占变化区域的47.1%,表示大部分区域FPAR变化显著。综合来看,FPAR年际变化率显著变化情况多发生在0~0.001区间,表明高原植被光合有效辐射利用比例轻微增长现象显著。

对比分析1982~2015年FPAR春、夏、秋、冬四季的年际变化率(图7(c)-(j))发现:冬季FPAR年际变化率大于0的区域占78.5%,在 $P < 0.01$ 置信水



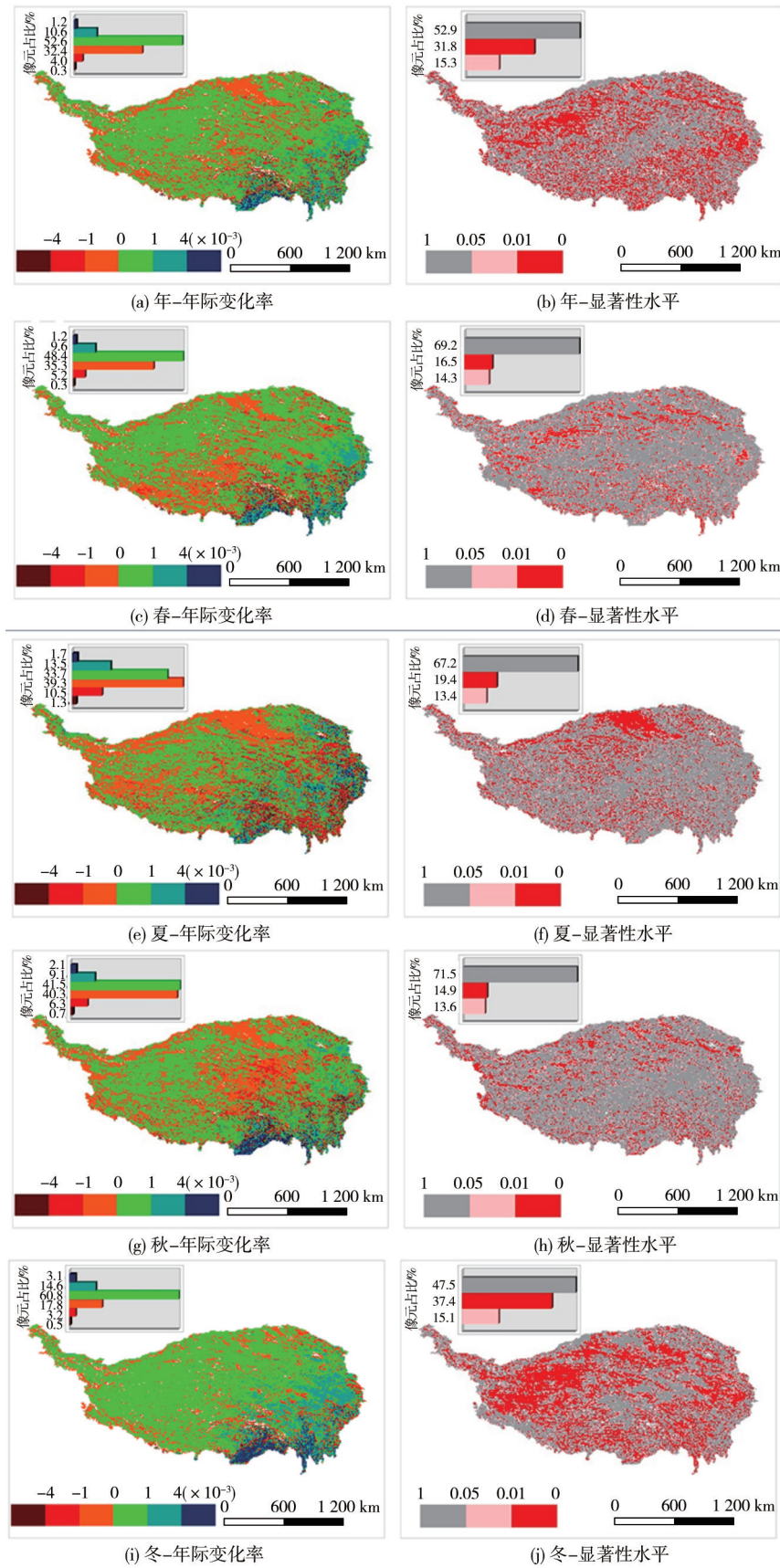


图 7 1982~2015 年 FPAR 年际变化率空间分布

Fig.7 The spatial distributions of inter-annual rate of change of FPAR in four seasons from 1992 to 2015

平下显著区域占比为37.4%。其中,变化幅度主要集中在0~0.001区间内,增长程度偏小,占比为60.8%。冬季增长显著区域空间分布集中,也是四个季节中FPAR增长面积最多、增长变化最显著的季节。秋季FPAR年际变化率小于0的区域占47.3%,在四个季节中下降面积最大,主要分布在中北部和中西部边缘区域。同时, $P<0.05$ 置信水平下的显著区域占比为28.5%,是4个季节中显著区域最少的季节。秋季FPAR变化率在-0.001~0.001之间占比高达81.8%,表明该季节整体变化程度较小。春季FPAR变化率在0~0.001区间占48.5%,主要分布在西北和东南区域,在-0.001~0区间占35.3%,主要分布在中南方向,相关系数显著性水平在 $P<0.01$ 置信区间的区域占比为16.5%。夏季FPAR变化率小于0的区域占比为51.1%,下降区域多于增长区域,显著变化区域占比为19.4%。北部下降趋势非常显著,而东南部下降程度偏高。此外,夏季FPAR变化率小于-0.004区域占比为1.3%,在该区间的占比高于春(0.3%)、秋(0.7%)和冬(0.5%)3个季节,表示夏季较多区域FPAR下降程度偏大。

#### 4 讨 论

大量研究证实了MODIS NDVI的空间细节展现能力更强,但时间序列长度偏短在监测植被动态变化方面处于劣势<sup>[16]</sup>。而GIMMS NDVI相对于MODIS NDVI具有更长的时间序列,有利于研究植被长时间以来的变化趋势。本文首先利用2001~2015年GIMMS NDVI和MODIS NDVI重叠时间段数据反演青藏高原植被FPAR,对比分析发现两种数据在反演FPAR年际变化趋势一致性大于60%的区域占研究区的36.6%,在反演FPAR空间分布格局上基本保持统一。值得注意的是,青藏高原存在大片无植被区,基于高原整体区域分析植被光合有效辐射吸收系数的时空变化分析,可能会高估MODIS NDVI和GIMMS NDVI数据反演FPAR的一致性。但利用GIMMS NDVI反演FPAR能够有效延长时间序列的长度,故本研究基于GIMMS NDVI进一步对青藏高原1982~2015年FPAR变化情况进行分析并发现夏季植被FPAR在空间分布上变化最大,该结论与王文玲<sup>[20]</sup>选取2005~2010年拉萨、海北两地区观测数据代表青藏高原分析光合有效辐射系数的季节变化发现夏季空间变化最大,冬季最小的研究结果基本相符。

青藏高原是长江、黄河等多条大河的发源地,近地面大气相对湿度的变化会引起气溶胶浓度改变,并通过影响大气散射性和吸收性间接影响FPAR<sup>[31-32]</sup>。夏季由于大量的降雨使得气溶胶浓度通过湿沉降的方式被降低,从而削弱了大气散射作用,最终到达植被冠层供植被光合作用利用的有效辐射更多,故FPAR值偏高<sup>[33]</sup>。这也表明FPAR会随着降水量的多少而发生改变,这种影响也体现在地形坡度上,斜坡会导致降水的空间分布格局通过地表径流的途径被再次分配。缓坡地形上,分坡慢流,排水良好,土壤肥力质量优良,植被生长旺盛,FPAR相应就高<sup>[34]</sup>。本研究也进一步统计了不同坡度、坡向和高程上FPAR均值发现FPAR受坡度和海拔的影响较大。FPAR受坡度的影响不仅体现在降水量的变化上,也因为不同坡度上生长的植被接收太阳有效辐射的入射夹角的不同,即FPAR受太阳高度角的影响较大<sup>[35]</sup>。此外,日照时数随海拔升高逐渐减少,温度逐渐降低,土壤有机质分解逐渐减缓等因素会导致太阳辐射不能被植被充分有效利用,植被FPAR的呈现明显的垂直分异规律<sup>[36]</sup>。

相关研究表明,气温差异也是导致植被FPAR变化的影响因素,章金城和周文佐<sup>[13]</sup>研究2006~2015年秦巴山区植被FPAR年际变化发现针叶林、阔叶林FPAR对气温变化的响应大于降水。刘双俞等<sup>[32]</sup>发现2000~2010年冬季气温对植被生长的影响要高于春季气温,本文也发现青藏高原冬季FPAR增长面积最多。植被对光合有效辐射的利用量受温度变化牵动,夏季拥有合适的气候条件,从而提高植物的光能利用效率,也提升FPAR值,故夏季FPAR值最高。

除了气候因素和地形因子的影响,植被本身的外貌形态与机理属性也影响FPAR,不同植被类型的叶片大小和厚度、冠层结构及光合特性截然不同,当同等量的辐射到达地面时,各个植被物种会做出不同程度的筛选和利用,从而导致不同植被FPAR值出现较大差异<sup>[37]</sup>。本文计算了不同植被类型FPAR并分析其年际变化动态趋势,发现林地植被FPAR值相对较高,其中,常绿阔叶林由于内部结构复杂、林冠宽阔又浑圆且全年常绿的特点使得FPAR值最大,其次为常绿针叶林。另外,青藏高原各季FPAR值从西北向东南逐渐增大,主要是因为该区域植被类型的地带性分化。伴随着海拔的升高,高原植被从东南向西北依次为阔叶林、针叶林、



高寒灌丛和草甸、高寒草原、高寒沙漠。植被类型从林地到荒漠的更替过程中,叶片逐渐变小,群落冠层结构渐渐趋于简单化,植被种类开始匮乏且覆盖度也逐渐降低,FPAR随之变小<sup>[38]</sup>。

有文献表明,如果将太阳光发出的全部日光辐射能定为100%,那么不能供植被吸收的波长占到60%,散热消耗8%,到达植被冠层发生反射和投射又丧失8%,最后植被代谢活动用掉19%,只剩下5%辐射能转换为化学能被固定<sup>[35]</sup>。在此过程中,地表不同地区植被接收太阳光的光照强度、日照时数、可见光波长、光质和辐射大小各不相同,共同作用于植被的生长过程和形态建成,调控着叶绿素含量、冠层结构、叶面积大小、植被生长密度以及酶活性,从而影响植被FPAR的变化<sup>[39]</sup>。除此之外,叶片水份对可见光的通透性也影响FPAR,轻微缺水就会影响植物气孔运动,导致进入叶内的二氧化碳减少,影响光合作用固碳能力<sup>[40]</sup>。同时,植被FPAR还与人类活动、施肥量、土壤反照率等密切相关。总之,影响植被FPAR变化的因素是多方面的,要明确导致FPAR变化的真正因素,还需要增加更多变量设计,并考虑FPAR同时面对多种因素产生的交互作用、综合作用的影响。

本研究基于青藏高原整体区域分析FPAR时空变化规律,在对四季FPAR进行空间变化分析时并未结合各季实际植被生长情况对未生长植被的区域进行剔除。随着四季更替,未生长植被区域不断变化,夏季植被分布面积最多,基于NDVI估算FPAR空间误差较小,春秋其次,但在冬季,由于气温很低,并有积雪覆盖,植被分布面积非常少,大面积非植被区域不存在FPAR,对于这部分非常绿植被分布区域而言,通过NDVI估算各季FPAR变化可能并不能真正反映植被吸收PAR的变化。但是,青藏高原植被种类丰富多样,即使在气候条件非常严峻的冬季也有部分植物正常生长,故在全面分析高原植被FPAR季节变化中不可忽略。而对于各季年际变化率的空间分布结果而言,冬季FPAR年际变化率大于0的区域主要集中分布在FPAR<0.2的区域,大面积低植被覆盖区域的FPAR增强,可以表明该区域植被的光能利用率增大,固碳释氧能力增强,高原冬季整体绿化水平上升。本研究尚未提取各季实际植被生长区域分析FPAR季节变化,会影响青藏高原生态环境监测的精度,该部分也将是下一步需要考虑并进行研究的重点。

## 5 结 语

本文基于2001~2015年GIMMS NDVI3g数据和MODIS NDVI数据集对研究区域的FPAR进行了反演计算,对比分析了两组数据反演结果的一致性,并对1982~2015年GIMMS NDVI3g的FPAR进行了反演和时空变化分析,结果表明:

(1)基于2001~2015年GIMMS NDVI3g和MODIS NDVI反演FPAR在空间分布上一致性较高,相关系数为0.81,误差为0.09;不同植被类型的MODIS FPAR值大于GIMMS FPAR值,但两组数据在反映各种植被FPAR年际变化趋势方面基本一致;两组数据FPAR值在年内时间变化上都呈现出夏季最大,秋季第二,春季第三,冬季最小的特征;在年际变化趋势上,虽然GIMMS FPAR年均值总体上都小于MODIS FPAR年均值,但每年FPAR出现峰值、最小值的年份基本一致,两组数据集在反映FPAR年际变化趋势方面基本一致。

(2)1982~2015年青藏高原GIMMS FPAR空间分布差异明显,呈现出东南部优于西北部的分布状态;四季FPAR分布面积最大的区间都为0~0.2,且均呈现从西北向东南逐渐增大趋势。高原中部区域的植被FPAR随季节更替变化明显,空间分布差异从大到小依次为夏季、秋季、春季和冬季。

(3)高原不同季节FPAR随着坡向变化差异不大,但FPAR随坡度和高程变化明显,其中,夏季随坡度变化差异最大,秋季随海拔变化最快。此外,不同类型植被FPAR也存在明显差异,常绿阔叶林FPAR值最大,稀疏灌丛最小。

(4)1982~2015年间青藏高原植被FPAR时空变化趋势不一,呈现增长趋势的区域占63.4%,呈现显著变化的区域占47.1%;四个季节中冬季FPAR增长面积最多,占78.5%;秋季FPAR下降面积最多,占47.3%,变化不显著区域占71.5%。

## 参考文献(References):

- [1] Zhang Jing, Xie Ya'nan, Wang Mingquan, *et al.* Estimation of Daily Value from PAR Instantaneous Value [J]. *Arid Zone Research*, 2019, 36(1): 220-227. [张璟, 谢亚楠, 汪鸣泉, 等. 基于光合有效辐射瞬时值估算日均值的方法[J]. *干旱区研究*, 2019, 36(1): 220-227.]
- [2] Wang Baolin. Hyperspectral FPAR Estimation of Typical Steppe [J]. *Grassland and Prataculture*, 2017, 29(4): 22-27. [王保林. 基于高光谱的典型草原FPAR估算研究[J]. *草原与草业*, 2017, 29(4): 22-27.]

- [3] Li Gang, Wang Daolong, Fan Wenjie, *et al.* Analysis on Temporal Variation of FPAR on Leymus Chinensis Meadow-steppes[J]. Remote Sensing Information, 2009(1): 10-15.[李刚,王道龙,范闻捷,等.羊草草甸草原FPAR时间变化规律分析[J].遥感信息,2009(1):10-15.]
- [4] Zhou G S, Wang Y H, Jiang Y L, *et al.* Estimating Biomass and Net Primary Production from Forest Inventory Data: A Case Study of China's Larix Forests[J]. Forest Ecology & Management, 2002, 169(1): 149-157.DOI: 10.1016/s0378-1127(02)00305-5.
- [5] Li Jin, Zhang Degang, Zhang Hongbin, *et al.* A Study on the Variations of Photosynthetic Active Radiation Parameters of a Leymus Chinensis Meadow-steppe in Hulunber [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2010, 19(4): 243-250.[李瑾,张德罡,张宏斌等.呼伦贝尔羊草草甸草原光合有效辐射分量变化规律分析[J].草业学报,2010,19(4):243-250.]
- [6] Li Fenling. A Remotely Sensed Retrieval Study on Land Surface Temperature in alpine and plateau region[D]. Lanzhou: Journal of Lanzhou University, 2006.[李粉玲.高山高原地区地表温度遥感反演研究[D].兰州:兰州大学,2006.]
- [7] Jiang Dong, Wang Naibin, Yang Xiaohuan, *et al.* Dynamic Properties of Absorbed Photosynthetic Active Radiation Absorption and its Relation to Crop Yield [J]. System Sciences and Comprehensive Studies In Agriculture, 2002(1): 51-54.[江东,王乃斌,杨小唤,等.吸收光合有效辐射的时序变化特征及与作物产量的响应关系[J].农业系统科学与综合研究, 2002(1):51-54.]
- [8] Yang Fei, Zhang Bai, Liu Zhiming, *et al.* A Study of Corn FPAR Estimation from Hyper Spectral Data based on PCA Approach and Near-infrared Short-wave Bands [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2008(4): 9-13.[杨飞,张柏,刘志明,等.玉米冠层FPAR的高光谱遥感估算研究——基于PCA方法及近、短波红外波段[J].国土资源遥感, 2008(4):9-13.]
- [9] Liang Shouzheng, Sui Xueyan, Hou Xuehui, *et al.* Simulation and Analysis on Green Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation of Deciduous Broadleaved Forest Canopy Through Remote Sensing Model[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(10): 3415-3424.[梁守真,隋学艳,侯学会,等.落叶阔叶林冠层光合有效辐射分量的遥感模拟与分析[J].生态学报,2017,37(10):3415-3424.]
- [10] Dong Taifeng, Meng Jihua, Wu Binfang. Overview on Methods of Deriving Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation(FPAR) Using Remote Sensing [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(22): 7190-7201.[董泰峰,蒙继华,吴炳方.基于遥感的光合有效辐射吸收比率(FPAR)估算方法综述[J].生态学报,2012,32(22):7190-7201.]
- [11] C.L Wiegand, A.J Richardson, D.E Escobar, *et al.* Vegetation Indices in Crop Assessments[J]. Remote Sensing of Environment, 1991, 35(2-3): 105-119.
- [12] Samuel N.Goward, Karl F.Huemrich. Vegetation Canopy PAR Absorptance and the Normalized Difference Vegetation Index: An Assessment Using the SAIL Model[J]. Remote Sensing of Environment, 1992, 39(2): 119-140.
- [13] Zhang Jincheng, Zhou Wenzuo. Spatial-temporal Changes of Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation in Qinling-Daba Mountains from 2006 to 2015[J]. Chinese Journal of Ecology, 2019, 38(5): 1453-1463.[章金城,周文佐.2006~2015年秦巴山区植被光合有效辐射吸收比例的时空变化特征[J].生态学报,2019,38(5):1453-1463.]
- [14] Yang Fei, Zhang Bai, Wang Zongming, *et al.* Comparison of Methods for Estimating Corn Canopy Parameters Based on MODIS Data [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2008, 23(2): 147-153.[杨飞,张柏,王宗明,等.基于MODIS数据的玉米植被参数估算方法的对比分析[J].遥感技术与应用,2008,23(2):147-153.]
- [15] Lin Xiaohui, Wang Junbang, Li Guicai, *et al.* Vegetation Spatial-Temporal Variation in Southeast Asia based on MODIS Remote Sensing Monitoring [J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(4): 629-635.[林小惠,王军邦,李贵才,等.基于MODIS遥感监测的东南亚地区植被动态[J].生态学杂志, 2011,30(4):629-635.]
- [16] Du Jiaqiang, Shu Jianmin, Wang Yuehui, *et al.* Comparison of GIMMS and MODIS Normalized Index Composite Data for Qinghai-tibet Plateau [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(2): 533-544.[杜加强,舒俭民,王跃辉,等.青藏高原MODIS NDVI与GIMMS NDVI的对比[J].应用生态学报,2014,25(2):533-544.]
- [17] Rasmus Fensholt, Simon R.Proud. Evaluation of Earth Observation based Global Long Term Vegetation Trends — Comparing GIMMS and MODIS Global NDVI Time Series [J]. Remote Sensing of Environment, 2012, 119(3): 131-147.DOI:10.1016/j.rse.2011.12.015.
- [18] Wang Xiaohang, Chang Kezheng, Wang Shigong, *et al.* Primary Study on Regional Characteristics of Solar Radiation in China during 1961~2000 [J]. Journal of Desert Research, 2008, 28(3): 554-561.[文小航,尚可政,王式功,等.1961~2000年中国太阳辐射区域特征的初步研究[J].中国沙漠, 2008,28(3):554-561.]
- [19] Li Guodong. Studies on Biogeography Patterns of Plants in the Sino-himalayan Regions-cases from Lagotis, Neopichrorhiza Scrophulariiflora, and Cyananthus Delavayi[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2013.[李国栋.中国—喜马拉雅地区物种分布格局机制的研究——以兔耳草属、胡黄连、细叶蓝钟花为例[D].北京:中国科学院大学, 2013.]
- [20] Wang Wenling. Trends and Estimations of Photo-synthetically Active Radiation in Tibetan plateau [D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science and Technology, 2012.[王文玲.青藏高原光合有效辐射的长期变化趋势及其估算方程[D].南京:南京信息工程大学,2012.]
- [21] Wang Yan. Overview of Plant Diversity and Conservation Strategies in the Tibetan Plateau Ecosystem[J]. Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences, 2015, 45(3):

- 47-49.[王琰. 青藏高原生态系统中植物多样性及保护策略概述[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2015, 45(3):47-49.]
- [22] He Tao, Wu Xueming, Jia Jingfen. Research Advances in Morphology and Anatomy of Alpine Plants Growing in the Qinghai-Tibet Plateau and their Adaptations to Environments [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007.DOI:http://dx.doi.org/.
- [23] Liu J Q, Duan Y W, Hao G, *et al.* Evolutionary history and underlying adaptation of alpine plants on the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Journal of Systematics and Evolution*, 2014, 52 (3):241-249.
- [24] Sun Honglie, Zheng Du, Yao Hengdong, *et al.* Protection and Construction of the National Ecological Security Shelter Zone on Tibetan Plateau[J].*Acta Geographica Sinica*,2012,67 (1):3-12.[孙鸿烈,郑度,姚檀栋,等. 青藏高原国家生态安全屏障保护与建设[J]. 地理学报,2012,67(1):3-12.]
- [25] Yang Bohui, Lang Xia, Sun Xiaoping. Biodiversity on Qinghai-tibet Plateau[J].*Journal of Livestock Ecology*, 2005, 26 (6):1-5.[杨博辉,郎侠,孙晓萍. 青藏高原生物多样性[J]. 家畜生态学报, 2005, 26(6):1-5.]
- [26] Xie Junfei, Guo Jia. Spatial-temporal Variation of Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (FPAR) in Beijing during 2010-2012 [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(4):1203-1210.[谢军飞,郭佳. 2010~2012年北京植被光合有效辐射吸收比例的时空变化[J]. 应用生态学报, 2016, 27(4):1203-1210.]
- [27] Peng D L, Zhang B, Liu L Y, *et al.* Characteristics and Drivers of Global NDVI-based FPAR from 1982 to 2006[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2012, 26(3):GB3015.DOI: 10.1029/2011GB004060.
- [28] Zhu Wenquan, Pan Yaozhong, Zhang Jingshui, *et al.* Estimation of Net Primary Productivity of Chinese Terrestrial Vegetation based on Remote Sensing[J]. *Journal of plant ecology*, 2007, 31(3): 413-424.[朱文泉, 潘耀忠, 张锦水. 等. 中国陆地植被净初级生产力遥感估算. 植物生态学报, 2007, 31 (3): 413-424.]
- [29] Zhou Bangshe, Yang Xinbin. Research Progress in Slope-Directive Variation of Mountain Soils[J]. *Journal of hebei agricultural university*, 2011, 34(2):80-85.[周邦社, 杨新兵. 植被和坡向对土壤温度与土壤热通量变化的影响[J]. 河北农业大学学报, 2011, 34(2):80-85.]
- [30] Pu Yulin. Long Gaofei, Liu Shiquan, *et al.* Effect of Vegetation and Slope on Soil Temperature and Soil Heat Flux[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, 38(4):753-757. [蒲玉琳, 龙高飞, 刘世全, 等. 山地土壤坡向性分异的研究概况[J]. 土壤通报, 2007, 38(4):753-757.]
- [31] Wang Wenling. Trends and Estimations of Photo-synthetically Active Radiation in Tibetan Plateau[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Technology, 2012.[王文玲. 青藏高原光合有效辐射的长期变化趋势及其估算方程[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2012.]
- [32] Cui M Y, Wang J B, Wang S Q, *et al.* Temporal and Spatial Distribution of Evapotranspiration and Its Influencing Factors on Qinghai-Tibet Plateau from 1982 to 2014. *Journal of Resources and Ecology*, 2019, 10(2):213-224.[崔明月, 王军邦, 王绍强, 等. 1982-2014年青藏高原地表蒸散量时空分布及其变化影响因子分析[J]. 资源与生态学报, 2019, 10(2): 213-224.]
- [33] Xu Xiyuan, Zhang Liping. Research on Effecting Factors of Precipitation's Redistribution of Rainfall Intensity, Gradient and Cover Ratio [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(4):28-30.[吴希媛, 张丽萍. 降水再分配受雨强、坡度、覆盖度影响的机理研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4): 28-30.]
- [34] Niu Xiaojun, Feng Wenlan, Wang Yongqian, *et al.* Study on Estimation of Photosynthetically Effective Radiation under Complicated Topography by remote sensing[J]. *Plateau Meteorology*, 2017, 36(4):1029-1038.[牛晓俊, 冯文兰, 王永前, 等. 复杂地形下光合有效辐射的遥感估算研究[J]. 高原气象, 2017, 36(4):1029-1038.]
- [35] Qi Donglin, Su Wenjiang, Li Bo, *et al.* Variation Characteristics of Sunshine Hours in Growing Season in Qinghai Plateau in Recent 50 Years[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin Chin Agric Bull*, 2015, 31(20):186-194. [祁栋林, 苏文将, 李璠, 等. 近 50 年青海高原生长季日照时数的变化特征[J]. 中国农学通报, 2015, 31(20):186-194.]
- [36] Liu Shuangyu, Zhang Li, Wang Cuizhen. Vegetation Phenology in the Tibetan Plateau Using MODIS Data from 2000 to 2010[J].*Remote Sensing Information*, 2014(6):25-30.[刘双俞, 张丽, 王翠珍, 等. 基于 MODIS 数据的青藏高原植被物候变化趋势研究(2000~2010 年)[J]. 遥感信息, 2014(6): 25-30.]
- [37] Christopher H. Lusk, Peter B. Reich, Rebecca A. Montgomery, *et al.* Why are Evergreen Leaves So Contrary about Shade?[J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2008, 23(6): 299-303.
- [38] Niu Cuijuan. General Ecology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2015.[牛翠娟. 基础生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2015.]
- [39] Song Yongchang. Vegetation Ecology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2016.[宋永昌. 植被生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2016.]
- [40] Xiao Wanxin, Wang Yanbo, Xie Pudi, *et al.* Research Progress of Photosystem Variation, Stoma Movement and Its Regulation of Plant Leaf Under High Temperature and Drought Stress[J]. *Liaoning Agricultural Sciences*, 2012(6):29-33. [肖万欣, 王延波, 谢甫第, 等. 高温和干旱胁迫下, 植物叶片光合系统变化、气孔运动及其调控研究进展[J]. 辽宁农业科学, 2012(6):29-33.]



## Analysis of the Spatio-temporal Variation in FPAR of the Tibetan Plateau from 1982 to 2015

Jiao Xuemin<sup>1,2</sup>, Zhang Helin<sup>5</sup>, Xu Fubao<sup>6</sup>, Wang Yan<sup>2</sup>, Peng Dailiang<sup>2</sup>,  
Li Cunjun<sup>3</sup>, Xu Xiyan<sup>3</sup>, Fan Haisheng<sup>7</sup>, Huang Yunxin<sup>1</sup>

(1.College of Resources and Environmental Sciences, Hubei University, Hubei Key Laboratory of Regional Development and Environmental Response, Wuhan 430062, China;

2.Digital Earth Key Laboratory, Institute of Remote Sensing and Digital Earth Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;

3.National Agricultural Information Engineering Research Center, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100097, China;

4.Institute of atmospheric physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

5.Faculty of Geographical Science BNU, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

6.Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China;

7.Department of Satellite Big Data Business, Zhuhai Orbita Aerospace Science & Technology Co., Ltd., Zhuhai 519080, China)

**Abstract:** The absorbed and utilized Fraction of Photosynthetically Active Radiation (FPAR) reflects the capacity of carbon fixation and oxygen release by vegetation, which may vary over space and time in large scale. Analysis of spatial-temporal variation in FPAR is an important topic of plant ecology. Based on GIMMS NDVI3g (1982~2015) and MODIS NDVI (2001~2015) data in the Tibetan plateau, here we used the nonlinear, semi-theoretical and semi-empirical models to inverse and analyze the spatial and temporal variation in FPAR. The results showed that (1) The spatial distributions of FPAR derived from GIMMS NDVI3g and MODIS NDVI were highly consistent, with the correlation coefficient being 0.82 ( $P < 0.01$ ). The area in which the trends of inter-annual change in the two inversion data were consistent for at least 6 years made up 80% of the studying area. (2) FPAR in Tibetan Plateau was greatly affected by slope and altitude. Changes in FPAR were fastest at slopes of 15~35 degrees and highest at altitude of 700~2 100 m. The effect of slope direction on FPAR was limited. There was little difference in FPAR among different slope directions except for the south where the FPAR was relatively lower. (3) The FPAR data from 1982 to 2015 demonstrated seasonal variation. The inter-annual variation in FPAR was most significant in winter, in which FPAR in about 78.5% of the area increased. FPAR declined most significantly in the fall. (4) FPAR derived from both the MODIS NDVI and GIMMS NDVI data demonstrated a small, temporary decline in 2012. The trend of inter-annual variation in FPAR was largely different among different vegetation types. In conclusion, the FPAR data from 1982 to 2015 in the Tibetan plateau demonstrated both spatial and seasonal variation, which may have important implications for further studies concerning climate and environmental changes in the region.

**Key words:** the Tibetan plateau; FPAR; NDVI; Vegetation; Spatial distribution; Inter-annual variation