

孟令奎, 李晓香, 张 文. 植被覆盖区 VIIRS 与 MODIS 遥感指数的相关性[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(3): 570-577.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2018.03.013

植被覆盖区 VIIRS 与 MODIS 遥感指数的相关性

孟令奎, 李晓香, 张 文

(武汉大学遥感信息工程学院, 湖北 武汉 430079)

摘要: 连续一致的遥感植被指数是获取地表植被动态变化的基础和前提。MODIS 遥感指数具有较高时间分辨率且记录时间长, 是快速、大面积获取植被信息的重要数据。然而, MODIS 处于超期服役阶段, VIIRS 是 MODIS 传感器的继承和发展, 研究 2 种传感器同类植被指数的关系, 以实现二者的联合应用, 具有重要的应用价值。采用探索性数据分析方法, 探究植被覆盖区 VIIRS *NDVI* 和 MODIS *NDVI* 的定量关系, 结果发现: 农田、林地、草地的 VIIRS *NDVI* 和 MODIS *NDVI* 均表现出显著的线性相关, 相关系数最高可达 0.96 ($P < 0.01$), 均值在 0.8 以上。经验证, 面向农田、林地和草地的综合模型能精确反映植被区 VIIRS *NDVI* 和 MODIS *NDVI* 的线性关系。农田、林地、草地的 MODIS *NDVI* 的时序特征和综合模型反演 *NDVI* 的时序特征具有一致性, 综合模型可有效应用于两者间的转换和时序应用。

关键词: MODIS; VIIRS; *NDVI*; 时序特征

中图分类号: T751.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2018)03-0570-08

The relationship between VIIRS and MODIS remote sensing index in vegetation coverage area

MENG Ling-kui, LI Xiao-xiang, ZHANG Wen

(School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: Consistent remote sensing (RS) vegetation indices are the basic and prerequisite for obtaining the dynamic changes of surface vegetation. MODIS remote sensing indices had long recording time and the high temporal resolution. MODIS RS indices were the important data for rapid and large-scale acquisition of vegetation information. But MODIS was in the extended service phase, and VIIRS sensor was inheritance and development of MODIS sensor. Studying the relationship between VIIRS sensor and MODIS sensor on the same vegetation index to achieve the joint application, which had important application value. The exploratory data analysis methods were used to explore the quantitative relationship between VIIRS *NDVI* and MODIS *NDVI* in vegetation coverage area. The result showed that there was significant linear correlation between VIIRS *NDVI* and MODIS *NDVI* in farmland, forestland and grassland. The correlation coefficient was as high as 0.96 ($P < 0.01$), and the mean value was above 0.8. The comprehensive model for farmland, forestland and grassland could accurately reflect the linear relationship between VIIRS *NDVI* and MODIS *NDVI* in the vegetation area. The time series characteristics of MODIS *NDVI* in farmland, forestland and grassland were consistent with the inversion characteristics of *NDVI* in comprehensive model. So the comprehensive model can be used for timing application and *NDVI* converting between VIIRS and MODIS effectively.

Key words: MODIS; VIIRS; *NDVI*; time series characteristics

收稿日期: 2017-10-11

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2017YFC0405800)

作者简介: 孟令奎 (1967-), 男, 汉族, 河南信阳人, 博士, 教授, 主要从事水利遥感监测和旱情监测方面的研究。(E-mail) lk-meng@whu.edu.cn

通讯作者: 张 文, (E-mail) wen_zhang@whu.edu.cn

植被在生物圈中扮演着重要角色, 影响着生态系统的平衡, 是环境、气候的重要指示因子, 因此, 植被监测一直是人们关注的重点。近年来, 随着遥感

技术的发展,采用卫星影像实时获取大面积植被信息,成为植被监测的重要手段。

植被指数通过强化可见光(主要是红光)与近红外波段反射率之间的差异来反映植被生长状况^[1-2],比较典型的是归一化差分植被指数(*NDVI*),*NDVI*在耕地信息提取、草地牧草鲜质量估算、土地覆被分类及其变化、作物长势监测、物候监测、气候变化监测、气象因子监测、干旱监测等^[3-5]方面得到广泛应用。*MODIS*(Moderate resolution imaging spectroradiometer) *NDVI*自1999年起逐步替代 *AVHRR*(Advanced very high resolution radiometer) *NDVI*,提供近20年全球 *NDVI* 数据。其继承了 *AVHRR NDVI* 的优点,同时弥补 *AVHRR NDVI* 的部分不足,如定标精度更高,更灵敏,能更好地反映植被状况^[6-7],已成为目前应用最广泛归一化差分植被指数。2011年10月28日美国发射了 *Suomi NPP* (The suomi national polar-orbiting partnership) 卫星,该卫星用来接替超期服役的 *Terra*、*Aqua*。*Suomi NPP* 携带包括 *VIIRS*(The first visible/Infrared imager/Radiometer suite)在内的5个对地观测仪器,*VIIRS* 传感器在波段设置方面总体上与 *MODIS* 传感器较为相似。

VIIRS 植被指数环境产品包含 *TOA* (The top of the atmosphere) *NDVI* 和 *TOC* (The TOP of canopy) *EVI* (The enhanced vegetation index)^[8],未来 *JPSS-1* 和 *JPSS-2* 计划中,植被指数环境产品将包含 *TOC NDVI*^[9]。当前各类植被覆盖区的干旱模型、作物估产模型、作物长势监测模型等各类模型涉及最多的是 *MODIS NDVI*。现今处于 *MODIS* 随时失效的阶段,探究植被覆盖区 *VIIRS NDVI* 与 *MODIS NDVI* 的关系,以获取长时间序列的 *MODIS NDVI*,具有十分重要的现实意义。*Vargas* 等发现 *VIIRS TOA NDVI* 与 *MODIS TOA NDVI* 反映植被覆盖程度的能力具有一致性^[8],二者的每天和16 d的值均非常相似,植被覆盖区2种指数随时间变化趋势相同,采用 *VIIRS NDVI* 获取时间序列 *MODIS NDVI* 是可行的。国内外关于植被覆盖区 *VIIRS NDVI* 和 *MODIS NDVI* 关系的研究是空白的,为填补空白,解决现实需求,本研究以河南地区为例,采用探索性数据分析方法,探究农田、林地、草地等植被覆盖区的 *VIIRS NDVI* 与 *MODIS TOC NDVI* 定量关系,并对模型的精度和时序应用进行分析,以期获取长期序列 *NDVI* 提供模型支撑和科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

河南省地处中国中东部,位于北纬 31°23'~36°22',东经 110°21'~116°39'。其处于暖温带-亚热带、湿润-半湿润季风气候,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥。境内多平原,约占总面积的 55.7%,植被覆盖类型主要为农田、林地和草地。河南省是中国的粮食大省,主要粮食作物为冬小麦和夏玉米。

1.2 数据分析与处理

MODIS 和 *VIIRS* 具体技术指标如表1所示,2颗卫星在同一个轨道平面运行,*NPP* 卫星和 *Aqua* 卫星有相同的降交点时间,轨道高度略高于 *Aqua*,相应的运行周期大。*NPP* 和 *Aqua* 日过境次数均为2次,因此,对于有时间限制的数据需求,*NPP* 亦能与 *Aqua* 一样满足要求。其次,*VIIRS* 幅宽大于 *MODIS*。*VIIRS* 传感器红光和近红外波段的空间分辨率为 375 m^[10],*MODIS* 相应波段的空间分辨率为 250 m^[11],但 *VIIRS* 采用一种特别的“蝴蝶结”效应去除方法,通过像元聚合控制越靠近边缘像素重叠越严重的现象,最终 *VIIRS* 的像素尺寸只在条带边缘加倍。*VIIRS* 红光波段较 *MODIS* 红光波段整体扩大,增幅较小,近红外波段设置极其相近。

表1 VIIRS 和 MODIS 主要技术指标对比
Table 1 The contrast of technical index between VIIRS and MODIS

参数	卫星	
	NPP VIIRS	Aqua MODIS
降交点时间	13 : 30	13 : 30
轨道高度(km)	833	705
红光波宽(μm)	0.600~0.680	0.620~0.670
近红外波宽(μm)	0.850~0.880	0.841~0.876
空间分辨率(m) (红光、近红外)	375	250
刈幅(km)	3 000	2 330
日过境次数	2	2
量化(bit)	12	12
重复周期(d)	16	16
运行周期(min)	102.0	98.8

植被分布数据采用国家基础地理信息中心的

GlobeLand30 产品,植被类型选取农田、林地、草地等 3 类(图 1)。为减少环境因子对试验结果的影响,选用 MODIS 和 VIIRS 8 d 最大值合成的地表反射率产品,分别为 MYD09A1 和 NPP_D8SRFHKM_L3D,均来源于 NASA LAADS,空间分辨率同为 500 m。

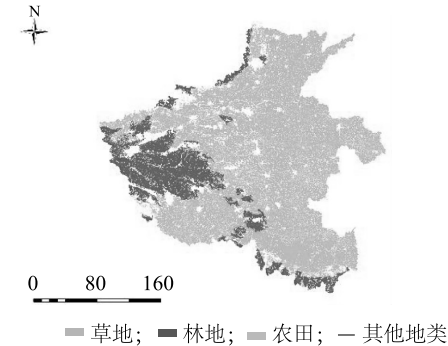


图 1 河南省植被分布图

Fig.1 Vegetation distribution of Henan province

遥感数据 MYD09A1 和 NPP_D8SRFHKM_L3D 是经过辐射定标、大气校正和精确的地理定位等预处理的合成产品,为方便存储,NASA LAADS 将地表反射率通过一定的方法转化为了整型,因此,需采用其逆向方法[公式(1)]转化为真实地表反射率,然后采用公式(2)得到相应的 *NDVI* 合成产品。

$$T_V = 0.0001 * S_V \quad (1)$$

$$NDVI_{TOC} = \frac{\rho_2^{TOC} - \rho_1^{TOC}}{\rho_2^{TOC} + \rho_1^{TOC}}$$

公式(1)中 T_V 表示真实值, S_V 表示存储值。公式(2)中 ρ_1^{TOC} 、 ρ_2^{TOC} 分别为红光和近红外的地表反射率,分别对应 MODIS 传感器的波段 1 和波段 2 以及 VIIRS 传感器 I 波段的波段 1 和波段 2 的地表反射率。

1.3 *NDVI* 指数建模

1.3.1 不同植被覆盖区 MODIS *NDVI* 和 VIIRS *NDVI* 相关性建模 遥感图像密度散点图是 2 个波段组合光谱空间结构信息的最佳图示方式,是探索相同空间位置不同数据未知关系的重要定量方法,本试验采用密度散点图探究农田、林地和草地等植被覆盖区 MODIS *NDVI* 和 VIIRS *NDVI* 呈现的空间关系特征。为减弱环境因子对试验结果的影响,选取 2 种传感器 2013–2015 年 3 年每月受环境因子影响小的同时序影像作为样本,得到如图 2 所示的密度散点图(试验序列较多,本研究仅给出 2013 年单数月)。

图 2 中 1 月份、3 月份、5 月份、7 月份、9 月份、11 月份农田、林地、草地 MODIS *NDVI* 和 VIIRS *NDVI* 点分布密集,集中于一条直线,呈现出明显的线性关系。采用 Pearson 相关分析法分析其相关性的强弱,图 3 为样本数据的相关系数,农田、林地、草地的 MODIS *NDVI* 和 VIIRS *NDVI* 存在显著的正相关,相关系数多数集中在 0.75~0.95,最高可达 0.96,平均在 0.80 以上。

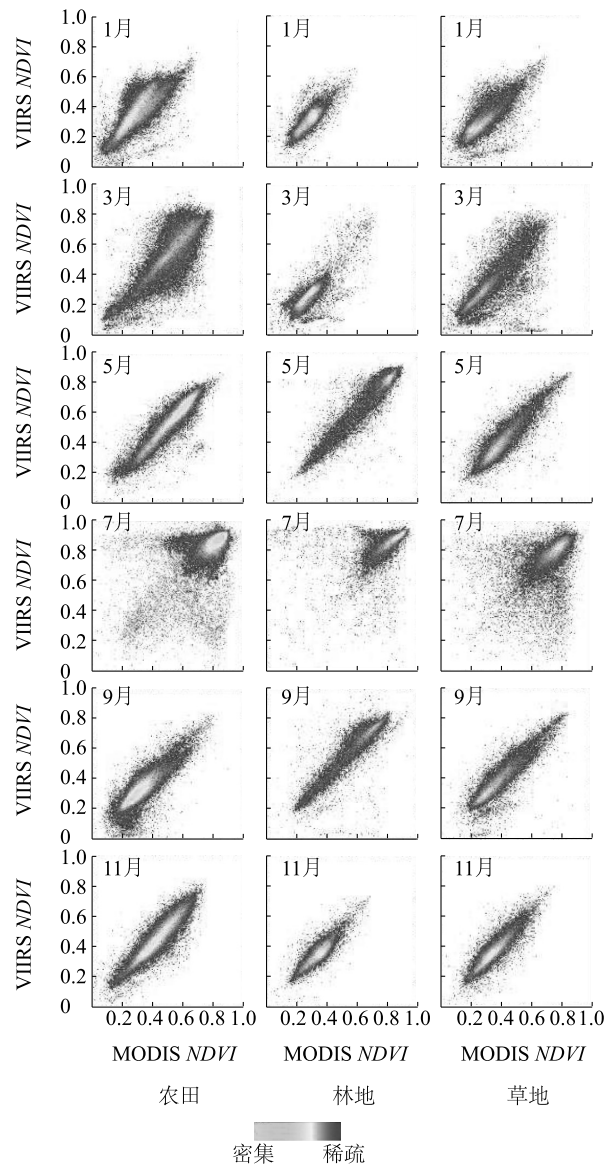
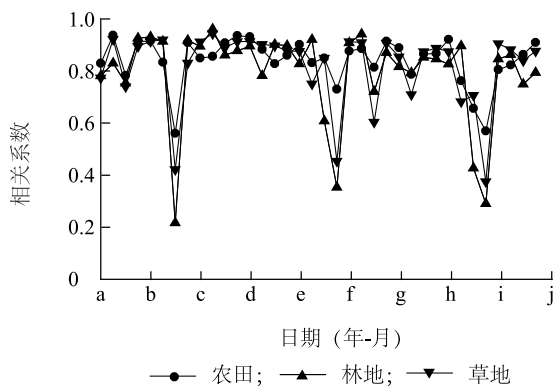


图 2 各类植被覆盖区 MODIS *NDVI* 和 VIIRS *NDVI* 密度散点图

Fig.2 Density scatter plots of VIIRS *NDVI* and MODIS *NDVI* in different vegetation coverage areas

图 3 显示,同时期农田、林地、草地 MODIS *NDVI*

和 VIIRS *NDVI* 的相关性相差不大,基本相等。同类别不同时期,相关性存在一定的波动,大多数时期波动较小。其次每年的七月或者八月相关性较小,且各类植被相关性相差较大。结合原始影像发现,影像质量越好相关性越高,七、八月份影像质量较差,相应的相关性较弱。影响影像质量的因素有很多,如云、雾、气溶胶颗粒等,结合研究区特点分析可知,影响本研究区影像质量的主要是季节因素,与其他月份相比,七、八月份河南省云雨天气较多。通过与前后期影像对比,VIIRS 受云雨天气影响较大,近红外波段和红光波段反射率受到不同程度影响,出现较多异常值。



a: 2013-01; b: 2013-05; c: 2013-09; d: 2014-01; e: 2014-05; f: 2014-09; g: 2015-01; h: 2015-05; i: 2015-09; j: 2016-01。

图3 2013–2015 年各类植被覆盖区 MODIS *NDVI* 和 VIIRS *NDVI* 的相关系数

Fig.3 Correlation coefficient between VIIRS *NDVI* and MODIS *NDVI* in different vegetation coverage areas from 2013 to 2015

最小二乘法是最常用的多元线性拟合方法,通过最小化误差的平方和找到样本数据的最佳匹配关系模型,用最简单的方法求得不可知的数据反演,同时保证误差平方之和最小。试验在 2013 年 2 月、5 月、8 月和 11 月各选一景受环境因子影响小的同时序 VIIRS *NDVI* 和 MODIS *NDVI* 影像数据作为样本,裁剪出农田、林地和草地同时序影像数据,获取各类别 4 个时期总的 VIIRS *NDVI* 和 MODIS *NDVI* 数据,进行最小二乘法线性拟合,得到农田、林地、草地 VIIRS *NDVI* 和 MODIS *NDVI* 相对较优的关系模型。

$$y_1 = 0.873 \ 0x_1 + 0.048 \ 3 \quad (3)$$

$$y_2 = 0.932 \ 0x_2 + 0.032 \ 5 \quad (4)$$

$$y_3 = 0.857 \ 9x_3 + 0.048 \ 7 \quad (5)$$

式中 $y_1, x_1, y_2, x_2, y_3, x_3$ 分别表示农田、林地和草地的 MODIS *NDVI* 和 VIIRS *NDVI*。

1.3.2 植被覆盖区 MODIS *NDVI* 和 VIIRS *NDVI* 综合关系模型 模型的好坏取决于精度,但在实际应用中还需满足便捷性,为了实现模型的便捷性,研究求取了植被覆盖区的综合关系模型。研究综合农田、林地和草地 MODIS *NDVI* 和 VIIRS *NDVI* 的关系特征,分析农田、林地、草地的 MODIS *NDVI* 和 VIIRS *NDVI* 综合定量关系是线性的。

将农田、林地和草地 3 类植被总样本的 MODIS *NDVI* 和 VIIRS *NDVI* 像元值一一对应,采用最小二乘线性拟合,得到综合关系模型(6)。

$$y = 0.893 \ 9x + 0.039 \ 2 \quad (6)$$

式(6)中 y, x 分别为植被覆盖区 MODIS *NDVI* 和 VIIRS *NDVI*。

2 结果与分析

2.1 模型精度与适用性分析

选取 2014 年 1 月、4 月、7 月、10 月受环境因子影响小的同时序 MODIS *NDVI* 和 VIIRS *NDVI* 对各类植被关系模型和综合模型进行验证。本研究采用相关系数、均方根误差和平均绝对误差 3 个精度指标进行精度评价,各类植被覆盖区采用 2 种模型反演结果的精度如表 2 所示。各类植被采用各自关系模型反演结果相关系数集中在 0.870 0 以上,农田、林地、草地平均相关系数分别为 0.917 4、0.907 4、0.902 9,对应的均方根误差主要集中在 0.07 以下,绝对值误差主要集中在 0.05 以下,7 月份略大,这与 7 月份 2 种传感器受环境因子影响不同有关。与各自关系模型相比,综合模型反演结果的相关性不变,均方根误差与绝对值误差与采用各自关系模型的误差相差不大,有的综合关系模型结果更优。说明,在保证精度的前提下,采用综合模型反演 MODIS *NDVI*,更能满足实际需求。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{i0})^2}{n}} \quad (7)$$

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - x_{i0}|}{n} \quad (8)$$

公式(7)、公式(8)中 x_i 表示通过模型反演的值, x_{i0} 表示对应像元的真值, n 为参与验证的像元总数。

为验证综合模型的普适性,本研究将全中国作为验证区,选取全国普遍天气较好的 2013 年第 282~289 d 的合成产品作为验证数据,采用 GlobeLand30 产品判定植被覆盖区,随机均匀地选择 28 处区域(50 km×50 km)对综合模型进行精度分析,3 种精度指标的结果如下:相关性最大值为 0.931 8,最小值为 0.678 2,平均为 0.833 9;均方根误差最大值为 0.081 8,最小值为 0.022 5,平均为 0.046 7;绝对值误差最大值为 0.053 3,

最小值为 0.016 5,平均为 0.046 6。从 3 个指标可以看出,综合模型可在全国植被区有效用于 2 种传感器的归一化差分植被指数的转换。

2.2 综合模型分析

为了直观表现综合模型的反演情况,探究不同季节综合模型的适用情况,选取了 2014 年单数月进行分析,图 4 为综合反演结果以及相应的植被覆盖区 VIIRS *NDVI* 和 MODIS *NDVI* 空间分布图。

表 2 精度评价结果

Table 2 The results of precision evaluation

类别	月份	不同植被关系模型 $y_i = a_i * x_i + b_i$		相关系数	综合关系模型 $y = 0.893 9x + 0.039 2$	
		均方根误差	绝对值误差		均方根误差	绝对值误差
农田	1 月	0.059 3	0.038 2	0.934 9	0.053 0	0.038 3
	4 月	0.069 6	0.056 0	0.920 5	0.069 9	0.056 1
	7 月	0.080 8	0.068 4	0.928 4	0.078 1	0.065 4
	10 月	0.050 0	0.036 7	0.885 7	0.050 0	0.035 6
林地	1 月	0.042 2	0.030 8	0.895 5	0.039 4	0.028 1
	4 月	0.060 0	0.038 8	0.898 7	0.059 8	0.039 8
	7 月	0.079 3	0.055 7	0.894 2	0.083 3	0.064 8
	10 月	0.047 2	0.033 5	0.941 3	0.050 1	0.037 1
草地	1 月	0.050 6	0.036 2	0.913 5	0.051 9	0.037 0
	4 月	0.070 1	0.046 8	0.876 4	0.071 3	0.046 6
	7 月	0.085 9	0.072 0	0.912 2	0.083 0	0.066 4
	10 月	0.056 3	0.039 2	0.909 6	0.055 5	0.037 9

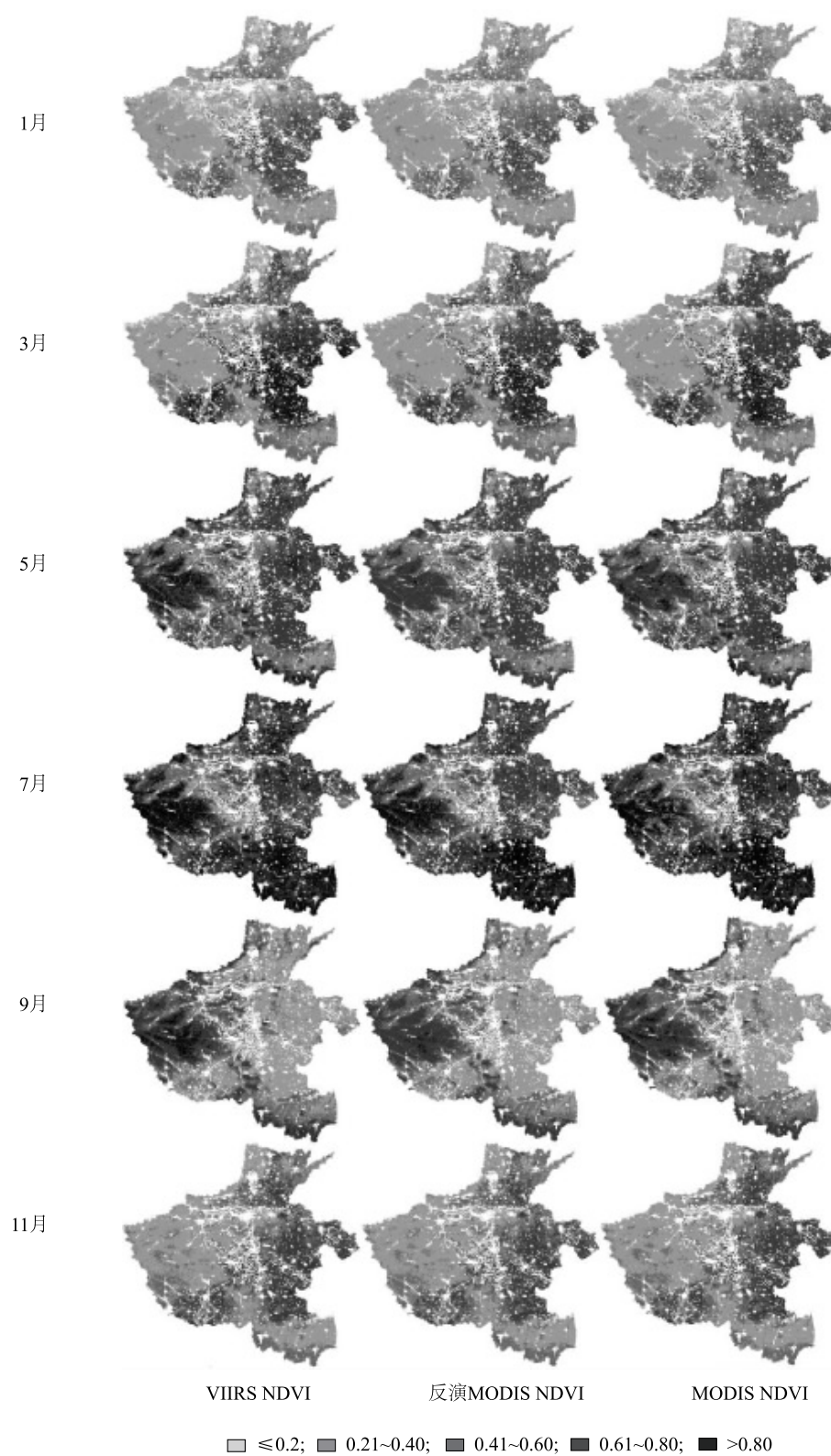
由图 4 可知,1 月、3 月、11 月 *NDVI*<0.2 的区域,VIIRS *NDVI*、反演 MODIS *NDVI*、MODIS *NDVI* 三者的一致性差。各月 0.2<*NDVI*<0.8 的区域 VIIRS *NDVI*、反演 MODIS *NDVI*、MODIS *NDVI* 三者空间分布上高度一致,3 月、5 月、7 月、9 月的高植被区(*NDVI*>0.8)的林地、农田和草地区域反演 MODIS *NDVI* 与 MODIS *NDVI* 一致性高,几乎可以替代 MODIS *NDVI*,VIIRS *NDVI* 与 MODIS *NDVI* 一致性差,表现为 VIIRS *NDVI* 高植被区范围大于 MODIS *NDVI*。根据研究区的实际情况,1 月、3 月、11 月 *NDVI*<0.2 的区域为裸土区,因此,综合模型在各类植被的生命周期内不同生长阶段适用度都很高,未来 MODIS 停用后,可继续用 VIIRS 数据获取植被覆盖区长时间序列的 MODIS *NDVI*。

2.3 模型时序应用

植被指数是用于植被物候监测的重要参数,受

植物生长季节的影响,随着植被的生长而变化,植被指数的时序曲线与植被的时序特征关系密切,因此植被指数反演模型的时序应用是检验模型好坏的重要方面。本试验选取研究区 2015 年重合时段 VIIRS *NDVI* 和 MODIS *NDVI*,采用综合模型得到反演 MODIS *NDVI*,然后利用农田、草地和林地矢量图裁剪出各类植被覆盖区,最后统计得到如图 5 所示的 2015 年农田、林地和草地的时序曲线。

由图 5 分析可知,同时期 MODIS *NDVI* 和反演 MODIS *NDVI* 走势相同。农田在秋、冬季节植被覆盖率低,4 月开始返青,5 月底和 10 月初,河南省大量的作物成熟收获,植被覆盖率骤然降低,6 月中旬和 10 月下旬耕种,植被覆盖率逐渐升高。林地与草地在春末夏初开始返青,春末夏初植被生长茂盛,持续到秋末。上述植被变化情况均能在 MODIS *NDVI* 和反演 MODIS *NDVI* 体现。河南省在每年 10 月至



图中的空白区为其他地物类别。

图4 综合模型反演结果对比分析图

Fig.4 Analysis chart of inversion results of comprehensive model

次年 6 月主要农作物为冬小麦,7 月至 9 月主要农作物为夏玉米。结合冬小麦和夏玉米的实测图^[12](图 6)可知,10 月至次年 6 月初的 MODIS *NDVI* 和反演 MODIS *NDVI* 走势与实测冬小麦植被生物量的变化趋势线相同。7 月至 9 月 MODIS *NDVI* 和反演 MODIS *NDVI* 与实测夏玉米植被生物量的变化趋势线相同,这表明反演 MODIS 归一化植被指数与 MO-

DIS *NDVI* 在反映植被生物量方面具有一致性。此外,模型反演的 MODIS *NDVI* 整体均衡化程度高,实际 MODIS *NDVI* 相对出现极端的情况略多,多数时期二者大小极其接近,整体上变化趋势一致。综合分析可知,模型反演的 MODIS *NDVI* 在反映植被的时序特征方面具有很好的效果。

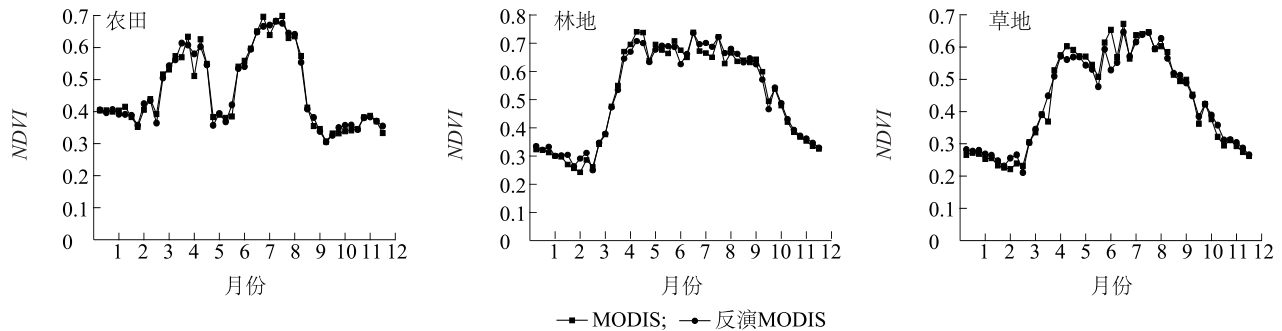
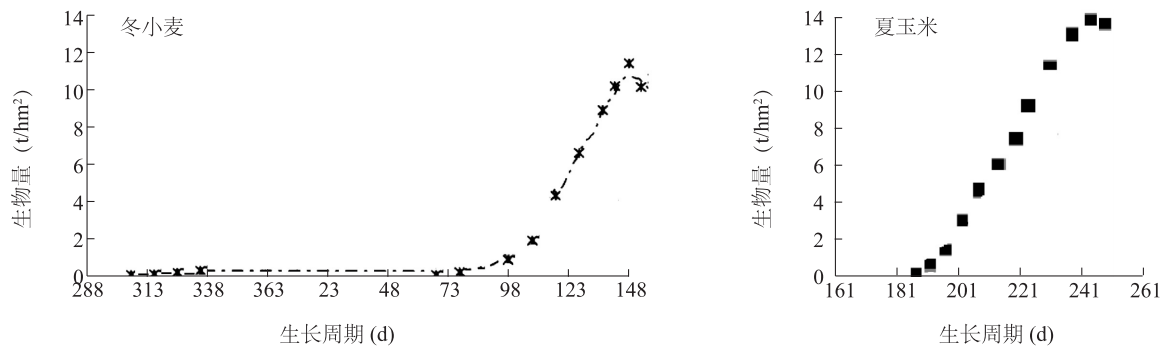


图 5 植被覆盖区时序曲线

Fig.5 Time series curve of ture and derived MODIS *NDVI* in the vegetation coverage area



图中冬小麦生长周期跨越两个年份,从第一年的第 288 d 至第二年的 148 d。

图 6 冬小麦和夏玉米的生物量变化趋势线

Fig.6 Trend line for biomass of winter wheat and summer maize

3 讨论

VIIRS 具有中高分辨率 2 种工作模式,是 NOAA 卫星上高分辨率辐射仪 AVHRR 和 EOS 系统 Terra 以及 Aqua 卫星上中分辨率成像光谱仪 MODIS 系列的拓展和性能改进^[13]。当 MODIS 失效时,VIIRS 在延续 MODIS 的任务上将发挥重要作用。本研究主要针对 MODIS 归一化差分植被指数延续展开研究,综合采用二维密度散点图和数学统计方法分析植被覆盖区 MODIS *NDVI* 和 VIIRS *NDVI* 的定量关系,结果发现:

(1)农田、林地、草地的 VIIRS *NDVI* 和 MODIS *NDVI* 间均存在显著的线性关系,相关系数平均在 0.8 以上。

(2)验证并分析农田、林地、草地的 VIIRS *NDVI* 和 MODIS *NDVI* 关系模型和基于所有植被覆盖区的综合关系模型,结果表明各自关系模型和综合关系模型均能较好地反映两者之间的定量关系,实现二者的转换。综合模型能满足人们对精度和便捷性的要求,在中国植被覆盖区(农田、林地和草地)具有很好的普适性。

(3)对比分析综合模型反演的 MODIS *NDVI* 与

MODIS *NDVI* 的时序曲线,发现二者在反映植被季节性如返青等和植物生物量方面具有一致性,均具有很好的指示作用。

未来 VIIRS *NDVI* 将逐步应用于各项工作,如大面积农作物估产,植物的物候期研究,以及地表植被分类,本研究为这些工作提供了有力的技术支持,为各项植被监测所需的长时序 MODIS *NDVI* 提供了模型。

VIIRS *NDVI* 和 MODIS *NDVI* 在 7、8 月份相关性稍弱,与 *NDVI* 易受环境因子影响有关,研究虽然选择了 8 d 合成产品,且尽可能选用了受天气影响较小的影像作为研究样本,在一定程度上减弱了天气的影响,但是仍无法彻底消除影响。今后的研究应致力于如何减弱环境因子对 VIIRS 影像数据的影响,使得 VIIRS 数据获取更准确的地表覆盖信息,能更好地监测植被覆盖和植物生长状况。

参考文献:

- [1] 王正兴,刘 闯,ALFREDO H. 植被指数研究进展:从 AVHRR-*NDVI* 到 MODIS-*EVI*[J]. 生态学报,2003,23(5):979-987.
- [2] 卫 炜,吴文斌,李正国,等. 时间序列植被指数重构方法对比研究[J]. 中国农业资源与区划,2014,35(1):34-43.
- [3] 左丽君,张增祥,董婷婷,等. MODIS/*NDVI* 和 MODIS/*EVI* 在耕地信息提取中的应用及对比分析[J]. 农业工程学报,2008,24(3):167-172.
- [4] 米兆荣,张耀生,赵新全,等. *NDVI* 和 *EVI* 在高寒草地牧草鲜质量估算和植被动态监测中的比较[J]. 草业科学,2010,203(6):13-19.
- [5] 朱 满,胡光宇,于之峰. 基于融合 *NDVI* 和 *EVI* 时间序列的遥感影像分类研究[J]. 遥感信息,2009,105(5):44-46,66.
- [6] 刘良明,梁益同,马慧云,等. MODIS 和 AVHRR 植被指数关系的研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2004,29(4):307-310.
- [7] 梁天刚,崔 霞,冯琦胜. 2001-2008 年甘南牧区草地上生物量与载畜量遥感动态监测[J]. 草业学报,2009,18(6):12-22.
- [8] VARGAS M, MIURA T, SHABANOV N, et al. An initial assessment of Suomi NPP VIIRS vegetation index EDR[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2013, 118(12):301-312, 316.
- [9] SHABANOV N, VARGAS M, MIURA T, et al. Evaluation of the performance of suomi NPP VIIRS top of canopy vegetation indices over AERONET sites[J]. Remote Sensing of Environment, 2015, 162:29-44.
- [10] XIA L, MAO K, MA Y, et al. Retrieval land surface temperature from visible infrared imager radiometer suite data[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(8):109-116.
- [11] 赵明洋,别 强,何 磊,等. 基于去云处理的祁连山积雪覆盖遥感监测研究[J]. 干旱地理,2014,37(2):325-332.
- [12] 范 兰,吕昌河,王学春,等. EPIC 模型对华北平原冬小麦与夏玉米生长和产量模拟的适用性评价[J]. 麦类作物学报,2014,34(12):1677-1684.
- [13] 李旭文,牛志春,姜 晟,等. 环境监测卫星 Suomi NPP 业务特性及生态环境监测应用[J]. 环境监控与预警,2014,6(3):1-6.

(责任编辑:陈海霞)