

GF-6 WFV 光谱植被指数模型的叶面积指数反演

王泉轩¹, 卢小平^{1*}, 孟庆岩^{2,3}, 李国清⁴, 王俊⁴, 张琳琳^{2,3}, 杨泽楠¹

1. 河南理工大学自然资源部矿山时空信息与生态修复重点实验室, 河南 焦作 454000
2. 中国科学院空天信息创新研究院, 北京 100101
3. 三亚中科遥感研究所, 海南 三亚 572029
4. 河南省遥感测绘院, 河南 郑州 450000

摘要 农业是国家经济发展的基础支柱,同时也是社会发展的基础产业。我国农业遥感技术的进步和发展,大量遥感卫星发射升空,如高分1号、2号和6号等,为我国农情监测、作物长势、农业产业结构调整提供了重要技术支撑。农业遥感成为农业科技创新和精准农业的重要手段。叶面积指数(LAI)是一种可用来衡量植被冠层生理与生化的关键指标,不仅可以用来评估植被冠层表面的最初能量交换情况,提供相应的结构定量数据,还能反映植被冠层的光谱能量信息。同时,在陆地气候变化情况下,叶面积指数是陆地生态系统和土地利用过程生产力模型的关键输入。此外,研究发现植被冠层受人为活动和气候变化的直接或间接影响时,叶面积指数也是陆地生态系统应对气候变化十分重要的衡量标准。因此,针对GF-6 WFV 遥感影像叶面积指数反演研究较少和传统光谱植被指数模型机理性、稳定性较弱的问题。基于GF-6 WFV 遥感影像以栾城县为试验区,通过光谱植被指数与实测叶面积指数构造5种传统光谱植被指数模型和15种红边参与的光谱植被指数模型反演乳熟期叶面积指数,采用 R^2 和RMSE进行模型评价,同时利用未参与建模的实测叶面积指数和MODIS LAI产品验证模型。实验结果表明:(1)由相关性分析可知,整体上讲,20种光谱植被指数与LAI具有显著相关性,相关系数在0.4以上,且红边参与构造的光谱指数相关性要高于无红边参与构造的光谱指数,其中NDSI的相关性最优;(2)由拟合分析可知,整体上讲,20种光谱植被指数与LAI拟合效果较好,其中NDSI3的拟合精度是最高的, R^2 为0.803, RMSE为0.3012。(3)由反演的空间分布可知,反演结果符合当地的实际情况。(4)由实测叶面积指数验证模型可知,实测叶面积指数与NDSI3模型反演的LAI整体拟合较好, R^2 为0.804, RMSE为0.3125,说明该模型能有效反演乳熟期玉米的生长状况。(5)由MODIS LAI产品验证模型可知,LAIMODIS均值要高于LAIGF-6,这与MODIS影像元混合严重和空间分辨率低有关。综上所述,GF-6WFV反演叶面积指数能力较强,其影像中红边参与构造的光谱植被指数模型能有效反演乳熟期叶面积指数,为玉米长势监测提供依据。

关键词 GF-6 WFV; 叶面积指数; 光谱植被指数模型; NDSI3

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2022)07-2278-06

引言

叶面积指数(LAI)是植被冠层结构最重要的生物物理参数之一^[1],它通常定义为单位地表面上所有叶片面积之和的一半,它是反映植被个体特征和群体特征长势的关键指

标,控制着地表植被的许多生物及物理过程^[2],因此,LAI的准确估算对作物长势、产量预估和环境监测等具有重要的意义。

目前,国内外多数学者对LAI反演主要采用物理模型和传统光学植被指数模型两种方法。其中,物理模型包含辐射传输的物理模型和计算机模型,辐射传输模型中具有代表性

收稿日期: 2020-10-20, 修订日期: 2021-12-30

基金项目: 灾害环境下快速应急定位组网技术项目(2016YFC0803103), 海南省重点研发计划项目(ZDYF2018231), 四川省科技计划项目(2018JZ0054), 国家高分辨率对地观测重大科技专项项目(05-Y30B01-9001-19/20-1), 河南省自然资源厅2021年度自然资源科研项目资助

作者简介: 王泉轩, 1992年生, 河南理工大学自然资源部矿山时空信息与生态修复重点实验室博士研究生 e-mail: 1244377865@qq.com

* 通讯作者 e-mail: LXP@hpu.edu.cn

的是 SUIITA 模型、SAIL 模型、PROSPECT 模型和 PRO-SAIL 模型等。Jacquemoud 等^[3]通过分析冠层生物物理和辐射传输模型,对 PROSAIL 模型的历史进程进行了分析。Duan 等^[4]基于高光谱无人机遥感影像数据,采用 PROSAIL 辐射传输模型结合 LUT 查表的方法对玉米、马铃薯和向日葵三种作物叶面积指数进行反演;Li 等^[5]利用基于 PROSAIL 的检索表,GF-1 遥感影像数据,为冬小麦品种特征和分布提供了先验知识,并利用光谱反射率结合 15 种植被指数反演得到不同物候期的叶面积指数,研究表明:在不同生育期选择合适的反演模型和策略可以大大提高反演效果。计算机模型具有代表性的如神经网络模型、极限学习机模型和随机森林模型等,如刘俊等^[6]采用 BP 神经网络模型反演了玉米 LAI,证明了 BP 神经网络反演 LAI 的准确性;贾洁琼等^[7]利用随机森林结合 PROSAIL 模型反演 LAI,证明了该模型能有效对农作物 LAI 进行监测;雷宇斌等^[8]采用极限学习机的方法反演道路植被 LAI。上述两种物理模型机理性强,使用的植被类型和空间范围更广,但模型参数较多且难获取,存在模型反演的病态问题。传统光谱植被指数模型能够有效解决构造模型参数较多的问题,便于构建。如 Soudani 等^[9]基于 IKONOS、SPOT 和 ETM+ 等 3 种遥感影像数据结合 5 种植被指数模型研究温带针叶林和落叶林叶面积指数反演;Liu 等^[10]利用植被指数半经验模型综合分析了农作物在不同生育期的拟合精度;贺佳等^[11]通过不同植被指数回归模型

反演冬小麦 LAI;赵虎等^[12]利用 5 种植被指数回归模型对小麦 LAI 反演;李军玲等^[13]采用红边面积与蓝边面积的归一化指数反演冬小麦 LAI。上述传统光学植被指数的经验模型虽然能够及时有效、无损害的监测作物长势,但机理性较弱,稳定性较差。

综上所述,虽然大部分国内外学者采用传统光谱植被指数模型或物理模型反演叶面积指数,但物理模型有反演病态的问题,传统光学植被指数模型会产生农作物机理的问题。针对物理模型反演易产生病态问题,本工作基于我国国产自主卫星 GF-6 WFV 遥感影像,采用光谱植被指数模型反演乳熟期玉米 LAI,同时引入红边波段参与建模,以增强模型稳定性。红边波段范围在 680~760 nm,是介于红波段到近红外波段,能有效指示农作物生长状况的敏感性光谱波段。

1 实验部分

1.1 实验区概述

实验区位于冀中平原西部的河北省石家庄市东南部栾城县(37°47′34″—37°59′20″N,140°28′36″—114°47′35″E),地势平坦,整体由西北向东南倾斜,平原为主要地形,如图 1 所示。这里气候温和,年平均气温 12.8℃,年降水量 423.7 mm,属温带大陆性季风气候,光热充足,雨热同季,有利于农作物生长。

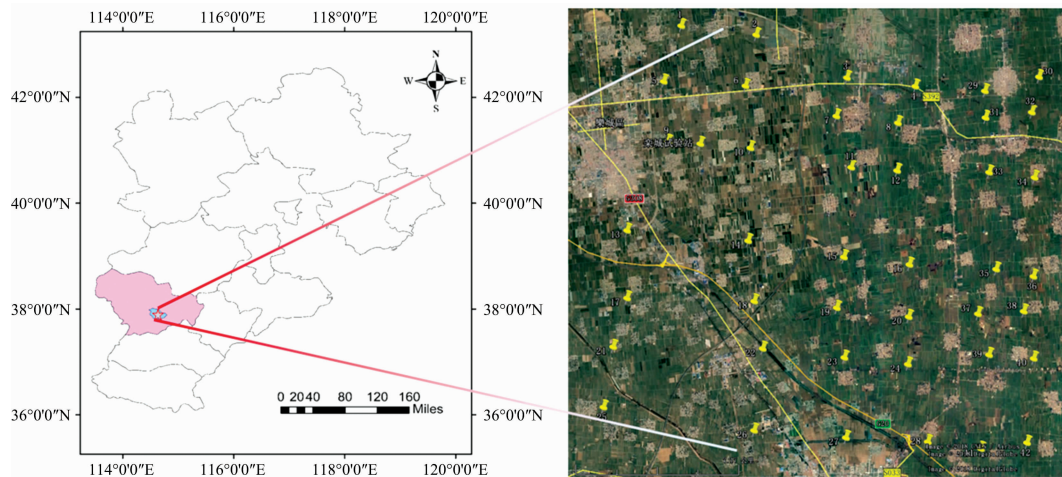


图 1 实验区采样点图

Fig. 1 Sampling sits of the experimental area

1.2 影像数据及预处理

高分 6 号多光谱遥感影像(GF-6 WFV)来源于中国资源卫星应用中心网,过境时间 2019 年 10 月 08 日与 LAI 采集时间基本一致,正好满足乳熟期玉米的时节,能更加有效的和准确的反应作物长势。其包含 8 个波段,空间分辨率 16 m,宽幅 800 km,重访日期 2 d,如表 1 所示。同时对影像进行辐射定标,大气校正和正射校正。辐射定标采用中国资源卫星应用中心下载的绝对定标系数,大气校正采用 ENVI 5.3 中的 FLAASH 大气校正模块,为获得地表真实反射率,正射校正采用 DEM 高程数据进行,使影像更加精确、清晰。

1.3 实测数据

采用美国 LI-COR LAI-2200C 植物冠层分析仪,采集日期为 2019 年 9 月 22 日—29 日上午 07:30—09:30(基本与高分 6 号卫星过境时间一致),选取玉米样方的数量为 50 个,尺寸为 16 m×16 m,并在其中挑选长势相同的 3 个点,所有样方都应当远离树木及建筑,还有道路,最少要保持 30 m 的距离,采样的时候需遮挡阳光,采用 LAI-2000 测量,具体来讲就是利用 180°遮盖帽,之所以如此是为了确保测量不出现误差。不仅如此,还要调整好实测地面和仪器之间的距离,按照标准应当保持 5 cm,目的是确保玉米冠层和仪器的

表 1 GF-6 卫星 WFV 遥感影像

Table 1 Remote sensing images of GF-6 WFV satellite

波段号	波段范围 / μm	波段名称	空间分辨 率/m	幅宽 /km
B01	0.45~0.52	蓝波段	16	800
B02	0.52~0.59	绿波段		
B03	0.63~0.69	红波段		
B04	0.77~0.89	近红外波段		
B05	0.69~0.73	红边 1 波段		
B06	0.73~0.77	红边 2 波段		
B07	0.40~0.45	紫边波段		
B08	0.59~0.63	黄边波段		

表 2 光谱植被指数计算公式

Table 2 Spectral vegetation indices

光谱植被指数	计算公式
归一化差值植被指数	$\text{NDVI} = (P_{04} - P_R) / (P_{04} + P_R)$
归一化差值光谱指数 1	$\text{NDSI1} = (P_{04} - P_{05}) / (P_{04} + P_{05})$
归一化差值光谱指数 2	$\text{NDSI2} = (P_{04} - P_{06}) / (P_{04} + P_{06})$
归一化差值光谱指数 3	$\text{NDSI3} = (P_{05} - P_{06}) / (P_{05} + P_{06})$
增强植被指数	$\text{EVI} = 2.5(P_{04} - P_R) / (P_{04} + 6P_R - 7.5P_B + 1)$
增强光谱指数 1	$\text{EVI} = 2.5(P_{04} - P_{05}) / (P_{04} + 6P_{05} - 7.5P_B + 1)$
增强光谱指数 2	$\text{EVI} = 2.5(P_{04} - P_{06}) / (P_{04} + 6P_{06} - 7.5P_B + 1)$
增强光谱指数 3	$\text{EVI} = 2.5(P_{05} - P_{06}) / (P_{05} + 6P_{06} - 7.5P_B + 1)$
抗大气植被指数	$\text{ARVI} = (P_{04} - 1.7P_R + 0.7P_B) / (P_{04} + 1.7P_R - 0.7P_B)$
抗大气光谱指数 1	$\text{ARVI} = (P_{04} - 1.7P_{05} + 0.7P_B) / (P_{04} + 1.7P_{05} - 0.7P_B)$
抗大气光谱指数 2	$\text{ARVI} = (P_{04} - 1.7P_{06} + 0.7P_B) / (P_{04} + 1.7P_{06} - 0.7P_B)$
抗大气光谱指数 3	$\text{ARVI} = (P_{05} - 1.7P_{06} + 0.7P_B) / (P_{05} + 1.7P_{06} - 0.7P_B)$
土壤调节植被指数	$\text{SAVI} = (P_{04} - P_R)(1+L) / (P_{04} + P_R + L)$
土壤调节光谱指数 1	$\text{SAVI} = (P_{04} - P_{05})(1+L) / (P_{04} + P_{05} + L)$
土壤调节光谱指数 2	$\text{SAVI} = (P_{04} - P_{06})(1+L) / (P_{04} + P_{06} + L)$
土壤调节光谱指数 3	$\text{SAVI} = (P_{05} - P_{06})(1+L) / (P_{05} + P_{06} + L)$
土壤调节植被指数	$\text{RVI} = P_{04} / P_R$
土壤调节光谱指数 1	$\text{RVI} = P_{04} / P_{05}$
土壤调节光谱指数 2	$\text{RVI} = P_{04} / P_{06}$
土壤调节光谱指数 3	$\text{RVI} = P_{05} / P_{06}$

注: P_{04} , P_{05} , P_{06} , P_R 和 P_B 分别为 GF-6 影像的近红外波段、红边 1 波段、红边 2 波段、红波段、蓝波段、绿波段, 反射率 L 为土壤调节系数, 本工作取 $L=0.5$

Note: P_{04} , P_{05} , P_{06} , P_R and P_B are spectral reflectances in the near-infrared, red-edge 1, red-edge 2, red, blue and green bands of GF-6 image respectively; L is the soil regulation coefficient and $L=0.5$ in this work

视角范围之间不产生误差。为了防止叶面积指数测量误差, 对各个样点的叶面积指数测量 4 次, 取平均值。同时, 利用美国 GPS 定位仪实时记录每个玉米样点的经纬度。

1.4 方法

1.4.1 光学植被指数

光学植被指数就是根据地面实测的叶面积指数与光学遥感中的光谱数据或者变换行式(植被指数)建立回归分析模型。采用这些植被指数可以用来估算叶面积指数, 并监测植被长势。通过选取 6 种典型抗饱和、抗土壤和大气光学植被指数与实测叶面积指数建立回归模型。同时考虑到 GF-6 WFV 遥感影像包含两个红边波段能更好的反演 LAI, 因此将其融入上述 6 种光学植被指数模型, 构造出新的光学植被指数, 植被指数计算公式如表 2 所示。

1.4.2 精度评定指数

通过精度评定可以有效的评价出植被指数与实测叶面积指数的拟合状况, 得到最优的反演模型, 即该模型反演的影像值和与其对应的实测值相一致。选取决定系数(coefficient of determination, R^2)和均方根误差(root mean square error, RMSE)作为评价指标, 如式(1)和式(2)所示

$$R^2 = \frac{\sum (y - y_i)_2}{\sum (y_c - y)^2} \quad (1)$$

式(1)中, y 为实测生态参数值, y_i 为估算生态参数值, y_c 为实测生态参数平均值。

$$\text{RMSE} = \left(\frac{\sum (y_i - y_c)}{n} \right)^{1/2} \quad (2)$$

式(2)中, y_i 为预测值, y_c 为实测值, n 为样本个数。

2 结果与讨论

2.1 相关性分析

在拟合回归分析前, 首先对光谱指数与 LAI 进行相关性分析, 如表 3 所示。根据分析结果可知, 总体上 20 种光谱植被指数与 LAI 具有显著相关性, 相关系数在 0.4 以上。其中, 具有红边参与构造的光谱指数相关性要高于无红边参与构造的光谱指数, 尤其是 NDSI3 的相关性最高, 达到 0.881 0。

表 3 光谱植被指数与乳熟期玉米 LAI 的相关系数

Table 3 Correlation coefficient types between spectral vegetation index and LAI of maize at milk stage

光谱指数	相关系数	光谱指数	相关系数
NDVI	0.532 6	ESI2	0.587 2
NDSI1	0.662 3	ESI3	0.602 3
NDSI2	0.653 6	ARVI	0.452 6
NDSI3	0.881 0	ARSI1	0.695 2
RVI	0.546 3	ARSI2	0.602 3
RSI1	0.701 2	ARSI3	0.701 2
RSI2	0.685 3	SAVI	0.482 3
RSI3	0.632 3	SAVI1	0.632 5
EVI	0.513 6	SAVI2	0.542 3
ESI1	0.592 5	SAVI3	0.592 3

2.2 LAI 反演拟合模型分析

基于 GF-6 WFV 卫星遥感影像采用 2.1 节中提到的 20

种光谱指数与实测 LAI 建立光谱植被指数模型，如图 2 所示。

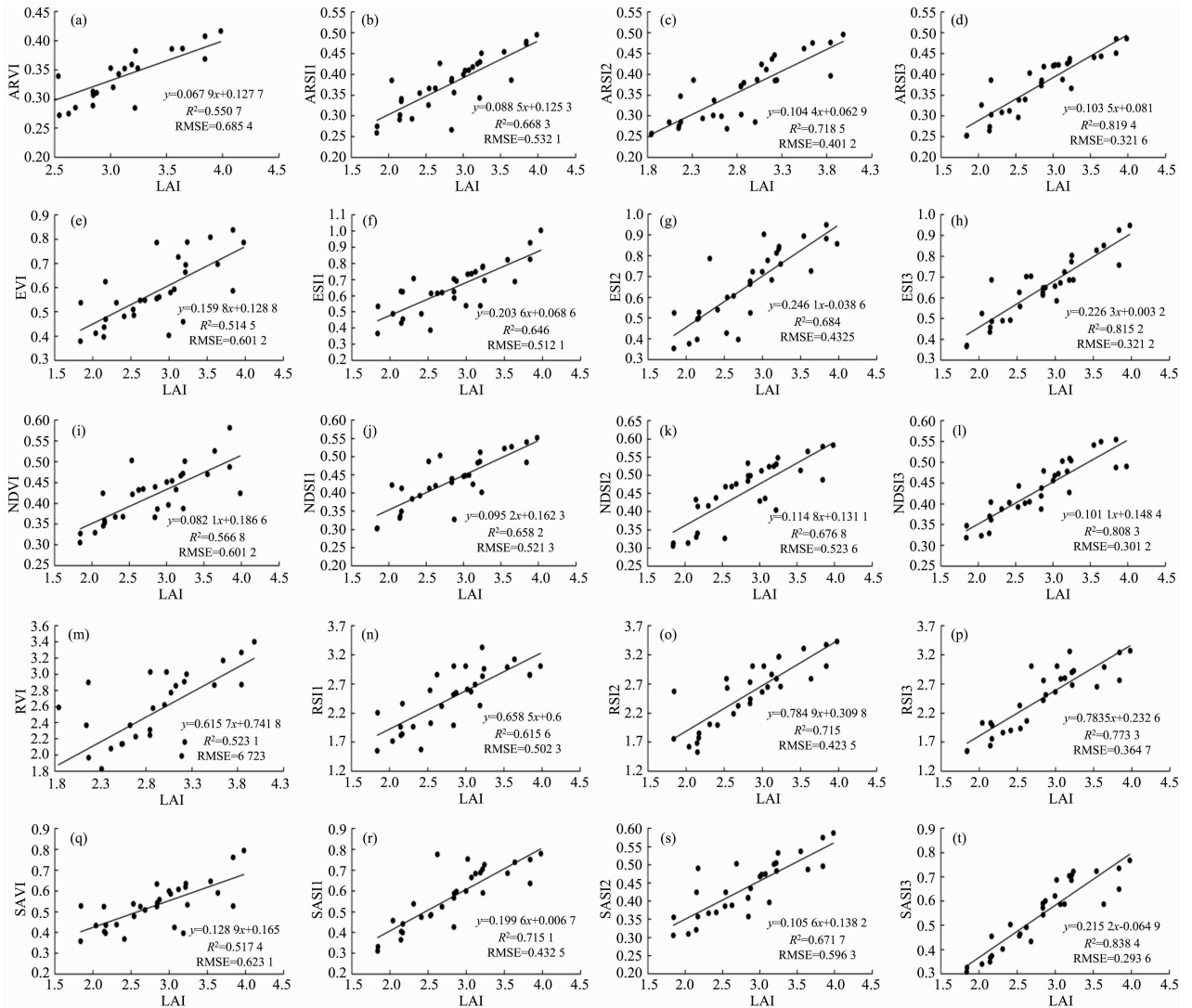


图 2 光谱植被指数模型验证

Fig. 2 Verification of spectral vegetation index model

从图 2 可知，基于 GF-6 WFV 遥感影像构造的光谱植被指数与 LAI 呈现显著正相关，R² 在 0.51 以上，说明整体拟合效果较好。其中 NDSI3 的拟合精度是最高的，R² 为 0.803，RMSE 为 0.301 2。主要是由于该模型有两种红边波段构成，对 LAI 的解释能力较优。综上所述，由红边参与构造的光谱植被指数与 LAI 拟合精度要高于未用红边参与构造的光谱植被指数，有利于叶面积指数的反演。

2.3 LAI 反演空间分析

LAI 对农作物长势分析、产量预估和环境监测有着巨大的作用。利用 NDSI3 光谱植被指数模型反演乳熟期玉米 LAI，如图 3 所示。

从图 3 可知，从数值上分析，通过模型估算出来的 LAI 集中分布在 2~3 之间，接近于实测 LAI 值。从空间分布上分析，玉米 LAI 的高值区主要分布在中部和南部地区，低值

区分布在西北部，符合当地的实际情况。但是东南部存在异常点，主要是受到城区道路和建筑物的影响，受到混合像元的影响。

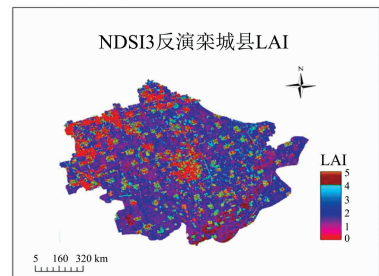


图 3 NDSI3 光谱植被指数模型反演乳熟期 LAI

Fig. 3 NDSI3 spectral vegetation index model inversion for LAI of corn at milk stage

2.4 模型验证

为了验证模型的准确性,将构建模型以外的 20 个实测 LAI 点与基于 GF-6 WFV 影像 NDSI3 模型反演的 LAI 进行回归分析,同时采用 R^2 和 RMSE 进行精度评价,如图 4 所示。

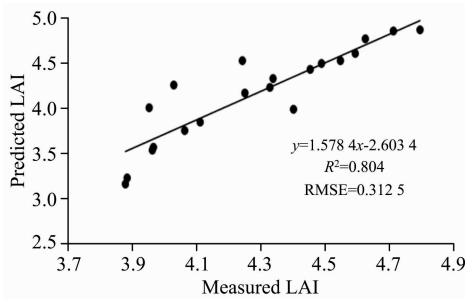


图 4 NDSI3 模型验证

Fig. 4 NDSI3 model validation

从图 4 可知,实测 LAI 与 NDSI3 模型反演的 LAI 整体拟合较好, R^2 为 0.804, RMSE 为 0.3125,说明该模型能有效反演乳熟期玉米的生长状况。

2.5 MODIS LAI 验证

为了更加准确的验证模型的实用性,采用 NDSI3 模型反演得到乳熟期 LAI 的影像重采样到 1 km,并随机抽取 100

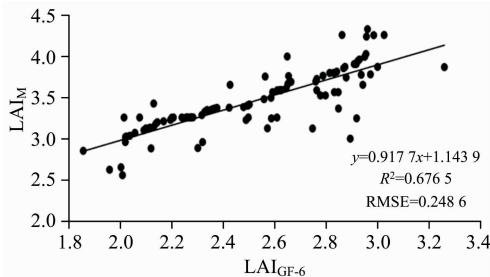


图 5 交叉验证

Fig. 5 Cross validation

个点。将 GF-6 WFV 影像反演得到的叶面积指数值(LAIGF-6)与对应点的 MODIS 影像产品 MOD15A2(LAIMODIS)进行回归拟合,并分析两者的相关性,如图 5 所示。

从图 5 可知,乳熟期玉米 LAIGF-6 与 LAIMODIS 有较好的一致性, R^2 为 0.6765, RMSE 为 0.2486。同时,对这 100 个点进行均值分析可知,LAIGF-6 均值为 2.1, LAIMODIS 均值为 2.9,说明定量化差异对本次实验影响较小, LAIMODIS 均值要高于 LAIGF-6,主要是由于 MODIS 影像像元混合严重和空间分辨率低有关。

3 结论

利用实测 LAI 与 GF-6 遥感影像构建了 5 种光学植被指数和 15 种光谱植被指数对乳熟期玉米 LAI 进行了反演分析,得出以下结论:

(1)15 种光谱植被指数和 5 种光学植被指数都与 LAI 达到了显著相关,红边参与构造的 15 种光谱植被指数相关性高于 5 种光学植被指数,其中归一化差值光谱指数 3 与乳熟期玉米 LAI 相关性最高。

(2)通过拟合回归可以得出,15 种光谱植被指数与乳熟期玉米 LAI 较 5 种光学植被指数拟合精度高。通过反演结果图可知,并未出现过拟合的现象。因此,可以有效证明归一化差值光谱指数 3 能有效反演乳熟期玉米 LAI。

(3)通过 MODIS LAI 产品验证可知,在反演精度要求不高时,MODIS 产品可以有效反演玉米 LAI,监测玉米长势。当反演精度要求较高时,GF-6 遥感影像可有效反演玉米 LAI,成为监测玉米长势的重要数据源。

综上所述,由 GF-6 WFV 构建的归一化差值光谱指数 3 能有效反演乳熟期玉米 LAI,为玉米长势监测提供依据。但由于受影像获取时间和野外观测条件的限制,本研究只是对乳熟期玉米的叶面积指数进行了研究,接下来应尽可能从玉米全生育期的角度,分析该方法的适用性和精度验证。

References

- [1] Marta M, Mait L. *Forestry Studies*, 2015, 63(1): 85.
- [2] Catherine W N, Hellen W K, John R O, et al. *Acta Universitatis Sapientiae, Agriculture and Environment*, 2016, 8(1): 139.
- [3] Jacquemoud S, Verhoef W, Baret F, et al. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113: S56.
- [4] Duan S B, Li Z L, Wu H, et al. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 2014, 26: 12.
- [5] LI Ya-ni, LU Lei, LIU Yong(李亚妮, 鲁蕾, 刘勇). *Chinese Journal of Applied Ecology(应用生态学报)*, 2017, 28(12): 3976.
- [6] LIU Jun, MENG Qing-yan, GE Xiao-san, et al(刘俊, 孟庆岩, 葛小三, 等). *Remote Sensing Technology and Application(遥感技术与应用)*, 2020, 35(1): 174.
- [7] JIA Jie-qiong, LIU Wan-qing, MENG Qing-yan, et al(贾洁琼, 刘万青, 孟庆岩, 等). *Journal of Image and Graphics(中国图象图形学报)*, 2018, 23(5): 719.
- [8] LEI Yu-bin, ZHU Shan-kuan, GUO Yun-kai, et al(雷宇斌, 朱善宽, 郭云开, 等). *Bulletin of Surveying and Mapping(测绘通报)*, 2018, (9): 82.
- [9] Soudani K, François C, Maire G L, et al. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 102(1): 161.
- [10] Liu J, Patteny E, Jégo G. *Remote Sensing of Environment*, 2012, 123(3): 347.
- [11] HE Jia, LIU Bing-feng, LI Jun(贺佳, 刘冰峰, 李军). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(农业工程学报)*, 2014, 30(24): 141.

- [12] ZHAO Hu, PEI Zhi-yuan, MA Shang-jie, et al(赵 虎, 裴志远, 马尚杰, 等). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(农业工程学报), 2012, 28(10): 172.
- [13] LI Jun-ling, PENG Ji-yong(李军玲, 彭记永). Journal of Triticeae Crops(麦类作物学报), 2018, 38(8): 979.

Inversion of Leaf Area Index Based on GF-6 WFV Spectral Vegetation Index Model

WANG Xiao-xuan¹, LU Xiao-ping^{1*}, MENG Qing-yan^{2,3}, LI Guo-qing⁴, WANG Jun⁴, ZHANG Lin-lin^{2,3}, YANG Ze-nan¹

1. Henan Polytechnic University, Key Laboratory of Spatio-Temporal Information and Ecological Restoration of Mines, Ministry of Natural Resources, Jiaozuo 454000, China
2. Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China
3. Sanya Institute of Remote Sensing, Sanya 572029, China
4. Henan Institute of Remote Sensing and Geomatics, Zhengzhou 450000, China

Abstract Agriculture is not only the basic pillar of national economic development but also the basic social development industry. With the progress and development of agricultural remote sensing technology in China, many remote sensing satellites, such as Gaofen-1, 2 and 6, have been launched, providing important technical support for agricultural situation monitoring, crop growth and agricultural industrial structure adjustment in China. Agricultural remote sensing has become an important means of agricultural science and technology innovation and precision agriculture. LAI is an important key index that can be used to measure vegetation canopy's physiological and biochemical characteristics. LAI can not only be used to evaluate the initial energy exchange on the surface of the vegetation canopy but also provide corresponding quantitative structural data and reflect the spectral energy information of the vegetation canopy. At the same time, the leaf area index is a key input to the production model of the terrestrial ecosystem and land use process in the context of terrestrial climate change. In addition, when it is found that the vegetation canopy is directly or indirectly affected by human activities and climate change, LAI is also a very important measurement standard for terrestrial ecosystems to cope with climate change. There are few kinds of researches on leaf area index inversion of GF-6 WFV remote sensing image, and the traditional spectral vegetation index model has a weak mechanism and stability. This article is based on GF-6 WFV remote sensing image in the Luancheng county as the experimental zone. Through spectral vegetation index and the measured leaf area index structure of 5 kinds of traditional spectral vegetation index model and 15 kinds of red edge of ratooning buds to participate in the spectrum of the vegetation index model inversion leaf area index, evaluating model using R^2 and RMSE. At the same time, using the actual leaf area index was not involved in the modeling, model and using the MODIS LAI product authentication model. The experimental results showed that: (1) Correlation analysis showed that, on the whole, 20 spectral vegetation indexes were significantly correlated with LAI, with the correlation coefficient above 0.4, and the spectral index correlation of red-edge participating structures was higher than that of non-red-edge participating structures, among which NDSI had the best correlation. (2) Fitting analysis showed that, on the whole, 20 spectral vegetation indexes had a better fitting effect with LAI, among which NDSI3 had the highest fitting accuracy, R^2 was 0.803, and RMSE were 0.301 2. R^2 and RMSE was 0.803 and 0.301 2, respectively. (3) As seen from the spatial distribution of inversion maps, the inversion results were in line with the actual local situation. (4) The verified model of measured LAI showed that the overall LAI fitting of measured LAI and NDSI3 model inversion is good, with R^2 and RMSE of 0.804 and 0.312 5 respectively, indicating that this model can effectively invert the growth status of maize at the milk stage. (5) The verification model of MODIS LAI products indicated that the LAI of MODIS mean it is higher than the LAI of GF-6, mainly due to the serious mixing of MODIS image pixels and the low spatial resolution. In summary, GF-6 WFV has a strong ability to invert LAI, and the spectral vegetation index model with red edges in its image can effectively invert LAI at the milk stage, providing a basis for maize growth potential monitoring.

Keywords GF-6 WFV; Leaf area index; Spectral vegetation index model; NDSI3

* Corresponding author

(Received Oct. 20, 2020; accepted Dec. 30, 2021)