

基于成像高光谱仪的大豆叶面积指数反演研究

陆国政^{1,2,3}, 李长春¹, 杨贵军², 于海洋², 赵晓庆², 张晓燕³

(1. 河南理工大学 测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454000; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097; 3. 南京农业大学 国家大豆改良中心, 江苏 南京 210095)

摘要: 高光谱遥感能连续获取地物光谱图像, 这一技术能大大提高估算叶面积指数的水平。利用无人机搭载成像高光谱仪获取作物光谱信息反演叶面积指数对精准农业生产与管理意义重大。通过灰色关联度排序、赤池信息量准则和偏最小二乘法(GRA-PLS-AIC) 选择了三角植被指数(TVI)、比值植被指数(RVI)、红边植被指数(NDVI₇₀₅)、归一化植被指数(NDVI)和重归一化植被指数(RDVI) 5 种植被指数, 结合田间实测的叶面积指数数据, 采用经验模型构建多指数反演模型。通过无人机为平台同步搭载数码相机和成像高光谱仪, 在山东省嘉祥县一带获取了大豆生殖生长期内的遥感影像, 同时利用 LAI-2200C 植物冠层分析仪进行叶面积指数测定, 将获取到的遥感影像和地面实测数据进行叶面积指数的反演。结果表明: 在大豆生殖生长期内建多指数模型, 建模结果的预测值和实测值的 R^2 和 RMSE 分别为 0.701 和 0.672, 验证结果的 R^2 和 RMSE 分别为 0.695 和 0.534, 预测模型有比较高的精度和可靠性, 利用该模型来反演 LAI 是准确的, 生成的大豆 LAI 分布图能反映当地当时大豆的真实长势情况。因此, 以多旋翼无人机为平台同步搭载高清数码相机和成像高光谱仪组成的无人机农情监测系统对研究大豆叶面积指数反演是可行性, 构建的多指数模型适用于大豆生殖生长期。

关键词: 无人; 遥感; 数码; 成像高光谱仪; 植被指数; 叶面积指数

中图分类号: TP79

文献标识码: A

DOI: 10.11861/j.issn.1000-9841.2016.04.0599

Retrieving Soybean Leaf Area Index Based on High Imaging Spectrometer

LU Guo-zheng^{1,2,3}, LI Chang-chun¹, YANG Gui-jun², YU Hai-yang², ZHAO Xiao-qing², ZHANG Xiao-yan³

(1. School of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China; 2. National Engineering Research Center for Agricultural Information Technology, Beijing 100097, China; 3. Nanjing Agricultural University, The National Center for Soybeans, Nanjing 210095, China)

Abstract: Hyperspectral remote sensing can continuous access to a spectral image, this technology can greatly improve the estimation of leaf area index level. Using unmanned aerial vehicle (UAV) with high imaging spectrometer for crop spectral information inversion of leaf area index of precision agriculture production and management is of great significance. This article chose the triangle ratio vegetation index (TVI), vegetation index (RVI), NDVI₇₀₅, NDVI and RDVI using the grey correlation degree sorting, red pool information criteria and partial least squares (GRA-PLS-AIC), being combined with the field measured leaf area index data, the empirical model was used to construct multiple index inversion model. By unmanned aerial vehicle UAV for high platform synchronization with a digital camera and imaging spectrometer, gained the soybean throughout the reproductive period of remote sensing image in Jinghang canal area, at the same time used LAI-2200c plant canopy analyzer for determination of leaf area index, took the measurement data of remote sensing image and the ground inversion of leaf area index. Results showed that many exponential model were built in the whole soybean reproductive period, the modeling results R^2 and RMSE of the predicted and the measured values were 0.701 and 0.672 respectively, the verification results R^2 and RMSE were 0.695 and 0.534 respectively, forecasting model had higher precision and reliability using the model to the inversion of LAI was accurate, the generated soybean LAI distribution reflected the reality of the local soybean was growing. Platform for multiple UAV rotorcraft synchronization, an high-definition digital camera and a high imaging spectrometer made the large soybean leaf area index inversion feasible, and build more index model for the whole growth period.

Keywords: Unmanned aerial vehicle (UAV); Remote sensing; Digital; High imaging spectrometer; Vegetation index; Leaf area index

收稿日期: 2016-04-26

基金项目: 河南省基础与前沿研究项目(152300410098); 国家地理测绘信息局公益项目(201412020)。

第一作者简介: 陆国政(1991-) 男, 硕士, 主要从事测绘工程研究。E-mail: 1450018989@qq.com。

通讯作者: 杨贵军(1976-) 男, 博士, 研究员, 主要从事定量遥感应用, 图像分析处理, 3S 集成开发及资源遥感监测等相关技术研究。
E-mail: guijun.yang@163.com。

叶面积指数(leaf area index, LAI)是指单位面积上植物叶片垂直投影面积的总和与单位土地面积的比值,它可为植物冠层表面最初能量交换描述提供结构化定量信息,是生态系统研究中最重要结构参数之一^[1]。叶面积指数也是重要的植物生理参数,是生态系统功能、净初级生产力等模型重要的陆地特征参量^[2]。目前快速、无破坏性大范围的获取植物 LAI 的唯一方法就是通过遥感估算。采用各种植被指数是早期 LAI 遥感估算研究的常用方法^[3]。由于卫星影像受到云层以及雨雪的干扰,严重影像叶面积指数反演精度。通过卫星影像反演叶面积指数不仅成本高而且耗时长,最终反演出来的精度也低,所以本文用无人机遥感这一技术手段来获取中小面积的大豆影像数据。

无人机遥感是以无人飞行器为遥感平台,以数字遥感设备为任务载荷,以遥感数据快速处理系统为技术支撑,高机动、低成本、自动化地快速获取地理资源环境等空间遥感信息,可以完成遥感数据采集、处理和应用分析的技术。利用无人机遥感技术,可以高精度地从空间观测角度获取丰富的基础数据,并且通过对这些资料的整理和分析,为农业、林业、地质、海洋、气象、水文、环保等领域提供参考。多年来国内学者集中对小麦、玉米和水稻的叶面积指数反演研究^[4-6],而将遥感监测技术应用于大豆的相关研究还比较少^[7-8],一般都是通过无人机搭载多光谱传感器来获取数据,很少搭载高光谱成像仪。光谱成像是新一代光电检测技术,兴起于20世纪80年代,目前仍在迅猛发展中。高光谱成像比多光谱成像具有更丰富的图像和光谱信息。近年来高光谱技术日益发展,较多研究者开始利用高光谱遥感方法来反演叶面积指数、叶绿素等生理参数^[9-14]。高光谱遥感是研究地表植被地学过程中对地观测的强有力工具,其特点是在特定的光谱域以高光谱分辨率同时获取连续的地物光谱图像,使得遥感应用注重于在光维上进行空间信息展开,定

量分析地球表层生物物理化学过程。高光谱遥感技术能够大大提高估算植被 LAI 以及其他生物化学指标的水平^[15-17]。

本文在大豆育种试验基地选取育种大豆品鉴种植区作为试验区,利用八旋翼电动无人机,同步搭载成像高光谱仪及高清数码相机开展无人机遥感数据获取,利用获取的高清数码影像和成像高光谱数据,结合田间同步实测 LAI 数据来反演叶面积指数,通过精确反演出的叶面积指数来辅助大豆育种,也可为大豆的生产与管理提供一种简便方法。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本试验的研究区域位于山东省济宁市西部,地处鲁西南黄泛冲积平原,地势自西北向东南微倾, E116°22'10" ~ 116°22'10", N35°25'50" ~ 35°26'20", 属黄河冲积平原,土质为黏壤土,地势平坦、排灌方便、肥力均匀、地力水平中上等,属暖温带季风区大陆性气候,春暖秋爽,夏热冬冷,降水集中,雨热同季,四季分明。多年平均气温 13.9℃,大于或等于 0℃的积温为 5 136℃,大于或等于 10℃的积温为 4 644℃。研究区域日照较充足,年平均日照时数为 2 405.2 h,无霜期 210.7 d。该区种植作物以小麦、玉米和大豆为主。

1.2 数据采集与处理

在试验基地选取育种大豆品鉴种植区作为试验区,试验利用八旋翼电动无人机(无人机净重约 6 kg,飞行时间 20 min,飞行高度 50 m),同步搭载高清数码相机(表 1)和成像高光谱仪(表 2)对研究区进行连续飞行监测,共进行 5 次观测,依次为 8 月 1 日(开花期) 8 月 13 日(结荚期) 9 月 1 日(鼓粒初期) 9 月 17 日(鼓粒盛期) 9 月 30 日(成熟期),获取生殖生长期的遥感数据,包括研究区高清数码影像和成像高光谱数据。

表 1 高清数码相机的主要参数

Table 1 Main parameters of High-definition digital camera

参数 Parameter	参数值 Parameter value	参数 Parameter	参数值 Parameter value
型号 Model	Canon Powershot G16	品牌 Brand	Canon
传感器尺寸 Sensor size/mm	7.530 × 5.647	质量 Weight/g	356
焦距长度 Focal length/mm)	6	采集频率 Sampling frequency/Hz	12
像素 Pixel	4000 × 3000	波段范围 Waveband	红、绿、蓝
视场角 Field angle/°	63.4 × 49.7	地面分辨率 Ground resolution/m	0.016

表 2 成像高光谱仪的主要参数

Table 2 Main parameters of high imaging spectrometer

参数 Parameter	参数值 Parameter value	参数 Parameter	参数值 Parameter value
型号 Model	UHD 185	光谱覆盖范围 Spectral range/nm	400 ~ 1000
品牌 Brand	Cubert	光谱分辨率 Spectral resolution/nm	2
像元分辨率 Pixel resolution/m	0.004	扫描速度 Scanning speed/lines	15 ~ 60
视场角 Field angle/°	20	推扫线宽 Line width/m	8
标准镜头焦距 Focal length/mm	25		

LAI-2200C 植物冠层分析仪测量原理是当光线透过植物冠层时,由于受到叶片和枝干的阻拦,辐射强度会迅速消减,根据其消减程度就可推算出植物的叶量。无人机对研究区进行连续飞行监测的时候,同时在地面上利用 LAI-2200C 植物冠层分析仪测定选定的 51 个具有代表性的小区(4 行 1 个小区,行长 5 m,行间距 0.5 m)大豆叶面积指数。LAI 测量时,尽量避免太阳光直射,在背向太阳光一侧,先测 1 个天空光,再依次放在靠近大豆根部位置测量 4 个目标值,测量始终保持镜头水准,最后获得小区大豆 LAI 平均值。

1.3 分析方法

选用灰色关联度、赤池信息量准则和偏最小二乘法(GRA-PLS-AIC) 方法构建整个大豆生殖生长期的叶面积指数反演模型。设计的大豆 LAI 反演一分析流程如图 1 所示。

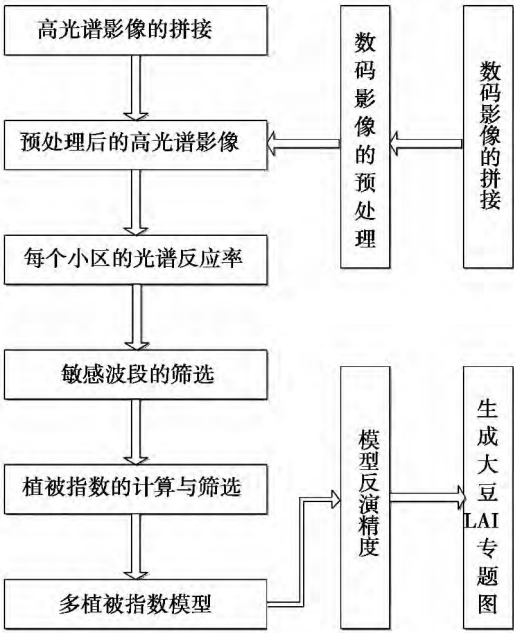


图 1 研究区内大豆叶面积指数(LAI) 估算试验的分析流程图

Fig. 1 Analysis flow chart of soybean Leaf area index in the study area

1.3.1 提取试验小区的光谱反射率 在高清数码正射图像上精确划分的小区范围(图 2) ,根据预处理后的无人机高光谱图像,提取每个小区的平均光谱反射率。如果小区数量少,次数少,可利用 Arc-GIS 软件进行小区的平均光谱反射率的提取,本试验由于数据量比较大,所以利用 ArcGIS 新建矢量文件,并绘制每一个研究小区的矢量,在 ArcGIS 属性表中记录当前所绘矢量的小区编号,在 IDL 中对每一个矢量及其对应的属性表中小区编号进行读取,利用读取的矢量信息建立感兴趣区域,对感兴趣区域内所有像元值分波段进行平均,这样能快速获取到每个小区的平均光谱。

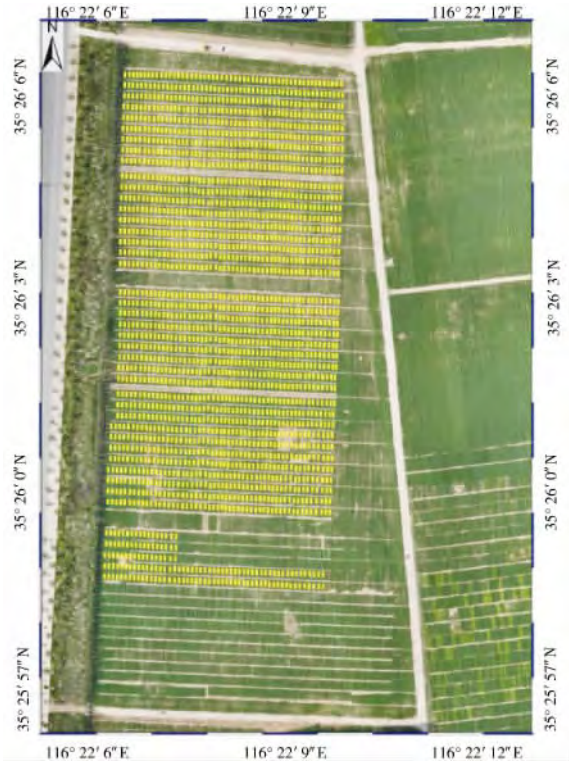


图 2 数码正射影像和小区划分

Fig. 2 Digital orthogonal projection and cell division

1.3.2 敏感波段的筛选 在 MATLAB 软件通过计算归一化植被指数(NDVI) 、比值植被指数(RVI) 、差值植被指数(DVI) 、绿色归一化差值植被指数(GNDVI) 、非线性植被指数(NLI) 、红边植被指数

($NDVI_{705}$)、重归一化植被指数(RDVI)、土壤调节植被指数(SAVI)、增强植被指数(EVI)和三角植被指数(TVI) 10 种植被指数与叶面积指数进行敏感性分析。

表 3 与 LAI 相关的植被指数

Table 3 Summary of spectral indices related to LAI

植被指数 Vegetation index	计算公式 A formula to calculate
归一化植被指数 NDVI	$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$
比值植被指数 RVI	$RVI = \frac{NIR}{R}$
差值植被指数 DVI	$DVI = NIR - R$
绿色归一化差值植被指数 GNDVI	$GNDVI = \frac{NIR - G}{NIR + G}$
非线性植被指数 NLI	$NLI = \frac{NIR^2 - R}{R + NIR^2}$
红边植被指数 $NDVI_{705}$	$NDVI_{705} = \frac{R_{750} - R_{705}}{R_{750} + R_{705}}$
重归一化植被指数 RDVI	$RDVI = \frac{NIR - R}{\sqrt{NIR + R}}$
土壤调节植被指数 SAVI	$SAVI = \frac{NIR - R}{NIR + R + L} (1 + L) \quad L = 0.5$
增强植被指数 EVI	$EVI = 2.5 \frac{NIR - R}{NIR + 6R - 7.5B + 1}$
三角植被指数 TVI	$TVI = 60(NIR - G) - 100(R - G)$

1.3.4 灰色关联度分析法 灰色关联度分析法是将研究对象及影响因素的因子值视为一条线上的点,与待识别对象及影响因素的因子值所绘制的曲线进行比较,比较它们之间的贴近度,并分别量化,计算出研究对象与待识别对象各影响因素之间的贴近程度的关联度,通过比较各关联度的大小来判断待识别对象对研究对象的影响程度。

1.3.5 赤池信息量准则 赤池信息量准则^[18]是赤池弘次在研究信息论特别是在解决时间序列定价问题中提出来的,AIC 可表示为

$$AIC = (-2) \ln(a) + 2(b) \quad (1)$$

对于线性回归模型,AIC 公式为

$$AIC = n \ln(S_p^2) + 2(k + 1) \quad (2)$$

式中:a 为模型的极大似然函数;b 为模型的独立参数个数;n 为样本含量; S_p^2 为剩余均方;k 为模型中变量个数。

1.3.6 偏最小二乘法 偏最小二乘法,它通过最小化误差的平方和找到一组数据的最佳函数匹配。用最简的方法求得一些绝对不可知的真值,而令误差平方之和为最小,表达式为:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \cdots + a_n X_n \quad (3)$$

式中: a_0 为回归系数的截距; a_i 为回归系数; X_1 为独立变量 1 到 n。

1.3.3 选择植被指数 根据植被指数和 LAI 之间的显著关系,选择 10 个与叶面积指数最相关的植被指数(表 3)。

1.4 统计分析

决定系数(R^2)和均方根误差(RMSE)作为指标解释和定量化 LAI 和植被指数之间的关系。一般而言, R^2 越高,RMSE 越小,则 LAI 和植被指数之间的模型的估算能力越好,反之,模型估算能力则差。

2 结果与分析

2.1 高清数码相机和成像高光谱仪的影像数据拼接

本次研究选择俄罗斯 Agisoft LLC 公司研发的 Agisoft PhotoScan 软件进行无人机遥感影像的处理。Agisoft PhotoScan 是一款三维设计制图软件,它可以基于影像自动生成高质量三维模型计制图软件。其数据处理流程主要包括:(1)将相片和 POS 数据导入到 PhotoScan 软件中;(2)筛选影像,保证参与校正拼接的影像的重叠度,为影像特征点的提取与匹配提供保障;(3)进行照片对齐,生成三维点云数据;(4)建立密集点云;(5)进行网格生成,得到测区光滑曲面;(6)导出正射影像图 DOM。

利用 PhotoScan 软件拼接好的数码正射影像图,在 ENVI 软件中进行影像几何校正,将几何校正后的数码影像导入 ArcGIS 软件中进行制图(图 3)。

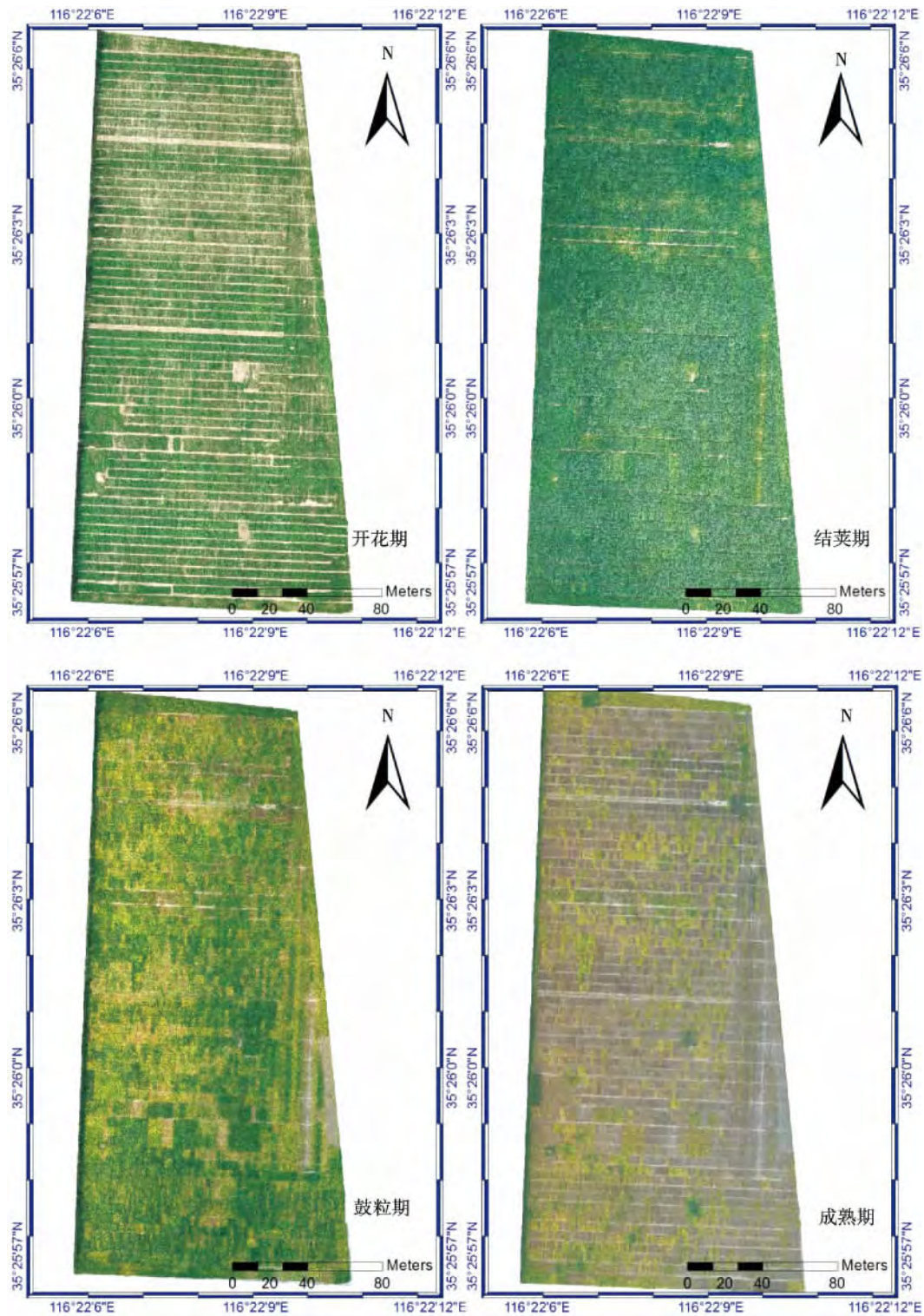


图3 研究区内大豆开花期、结荚期、鼓粒期和成熟期的数码正射影像

Fig.3 Digital orthogonal projection image of flowering , podding , fulling and mature stages in the study area

影像拼接时,先通过全色拼接,进行影像融合,最后进行高光谱影像拼接。利用拼接后的高光谱影像进行几何校正,在 ENVI 软件进行几何校正。经过几何校正后的高光谱影像具有较真实的地表

反射率,利用几何校正好的高光谱影像,再结合数码正射影像划分的 51 个实测小区(图 4),从高光谱影像上提取每个小区的平均光谱反射率。

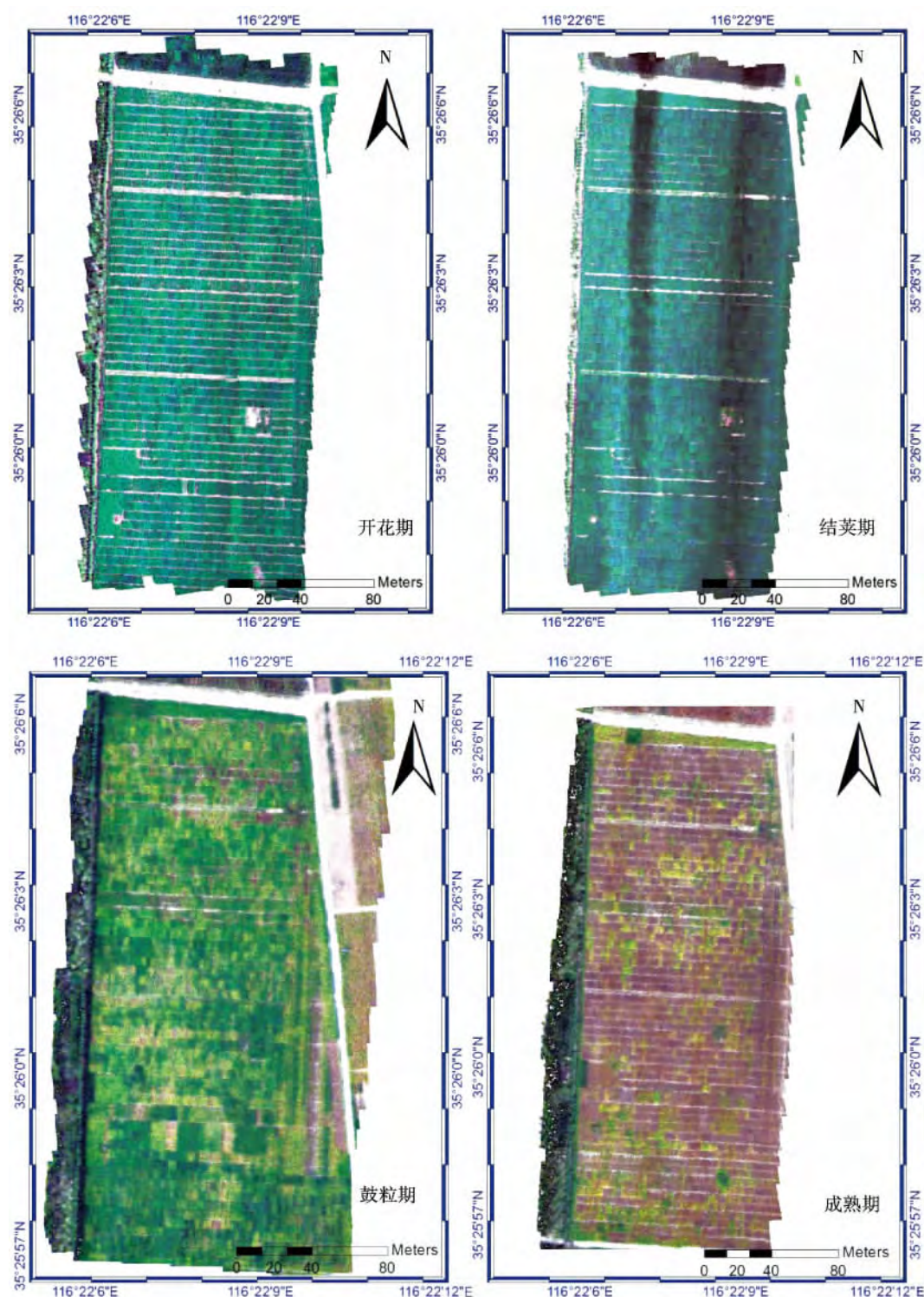


图4 研究区内大豆开花期、结荚期、鼓粒期和成熟期的成像高光谱影像

Fig. 4 Imaging hyperspectral images of flowering podding ,
fulling and mature stages in the study area

2.2 植被指数与 LAI 的相关性

在 MATLAB 软件通过计算归一化植被指数 (NDVI)、比值植被指数 (RVI)、差值植被指数 (DVI)、绿色归一化差值植被指数 (GNDVI)、非线性植被指数 (NLI)、红边植被指数 ($NDVI_{705}$)、重归一化植被指数 (RDVI)、土壤调节植被指数 (SAVI)、增

强植被指数 (EVI) 和三角植被指数 (TVI) 10 种植被指数与叶面积指数进行敏感性分析。其相关关系图如图 5 所示,在红波段 750 nm 处和近红外波段 770 nm 处计算得到的植被指数与叶面积指数相关性最大。

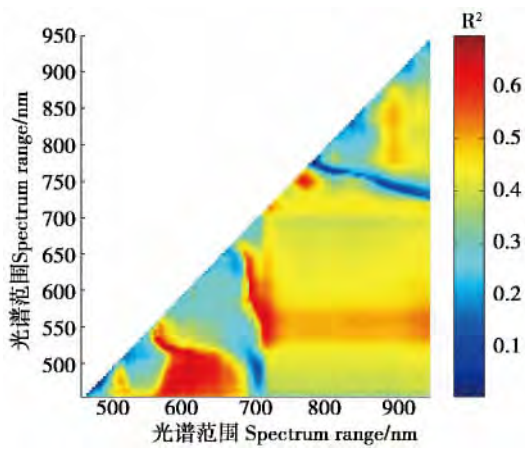


图 5 10 种植被指数与叶面积指数(LAI) 敏感性分析

Fig. 5 Sensitivity analysis of ten vegetation index and leaf area index (LAI)

植被指数与 LAI 进行相关性分析 ,从表 4 中可以看出 植被指数与 LAI 之间都存在显著或极显著关系 ,其中 RDVI 与 LAI 存在显著关系 ($P < 0.05$) ,其他植被指数与 LAI 都存在极显著关系 ($P < 0.01$) 。RVI、TVI、NDVI、EVI、SAVI、DVI、GNDVI 和 NLI 与 LAI 呈极显著负相关 ,NDVI₇₀₅ 与 LAI 呈极显

表 5 植被指数与 LAI 之间灰色关联度大小顺序

Table 5 Grey relational degree and rank of evaluation index for LAI

评估指数 Assessment index	灰色关联度 ($\varepsilon = 0.5$) Grey correlation degree	顺序 Order	评估指数 Assessment index	灰色关联度 ($\varepsilon = 0.5$) Grey correlation degree	顺序 Order
TVI	0.692198	1	EVI	0.594291	6
RVI	0.662711	2	SAVI	0.59376	7
NDVI ₇₀₅	0.645957	3	DVI	0.582306	8
NDVI	0.596651	4	GNDVI	0.582121	9
RDVI	0.594333	5	NLI	0.536761	10

利用 AIC 确定最优回归模型指标 ,当进入方程的植被指数自变量根据灰色关联度顺序参与回归时 ,AIC 值在各个回归方程中的值发生了变化。当 5 个植被指数参与回归时 ,AIC 值最小 ,最小值为 -12.19。AIC 的原则是寻找可以更好的解释数据但包含最少自由参数的模型 ,因此选择 5 个植被指数自变量参与回归的模型作为最优方程(表 6) 。

总之 根据植被指数和 LAI 之间的显著关系 选择 10 个与叶面积指数最相关的植被指数 ,这 10 种植被指数与 LAI 都存在极显著或显著关系。通过灰色关联排序、赤池信息量准则和偏最小二乘法 (GRA-PLS-AIC) 这种方法 ,从 10 种植被指数里面选择了三角植被指数(TVI) 、比值植被指数(RVI) 、红边植被指数(NDVI₇₀₅) 、归一化植被指数(NDVI) 和重归一化植被指数(RDVI) 5 种植被指数 ,这 5 种植

著正相关。

2.3 构建大豆 LAI 反演模型

2.3.1 植被指数与 LAI 之间的灰色关联度分析

由表 5 可知 植被指数和 LAI 的灰色关联度大小顺序为: TVI > RVI > NDVI₇₀₅ > NDVI > RDVI > EVI > SAVI > DVI > GNDVI > NLI。所选植被指数中关联度最高的是 TVI ,关联度为 0.692 ,关联度最低的是 NLI ,关联度是 0.537。

表 4 LAI 与植被指数之间的相关性

Table 4 Correlation between vegetation index and LAI

植被指数 Vegetation index	相关系数 r	植被指数 Vegetation index	相关系数 r
RVI	-0.68310 **	EVI	-0.61186 **
TVI	-0.57217 **	SAVI	-0.61332 **
NDVI ₇₀₅	0.521781 **	DVI	-0.58990 **
NDVI	-0.70194 **	GNDVI	-0.52021 **
RDVI	-0.64000 *	NLI	-0.53775 **

* 和 ** 分别表示 0.05 和 0.01 水平显著相关。

* and ** indicate significant correlation at 0.01 and 0.05 level , respectively.

被指数与叶面积指数反演 ,反演精度是最高的。

表 6 AIC 值比较

Table 6 Comparison of PLS

自变量个数 The number of the independent variables	AIC
1	142.46
2	41.27
3	41.55
4	33.76
5	-12.19
6	36.77
7	-10.44
8	-8.44
9	33.76
10	-10.20

2.3.2 建模与验证 通过 2.3.1 的分析,利用 2015 年山东圣丰整个大豆生殖生长期的数据,建立了以 5 个植被指数作为自变量的 LAI 最优估算模型。前 5 个植被指数分别为 RVI、TVI、NDVI₇₀₅、NDVI 和 RDVI。从表 7 和图 6 可以看出,用 GRA-PLS-AIC 估算大豆 LAI,用 2/3 样本建模, R^2 和 RMSE 分

别为 0.701 和 0.672,其建模精度较为理想。为了验证模型的精度,利用剩下的样本个数进行验证,结果显示 R^2 和 RMSE 分别为 0.695 和 0.534,预测值和实测值的散点图具有较好的一致性,该算法与叶面积指数的相关性达到极显著水平,表明采用 GRA-PLS-AIC 进行叶面积估算具有较好的可靠性。

表 7 LAI 的估算与验证

Table 7 Estimation and validation of LAI

建模方法 The modeling method	建模 Modeling			验证 Validation		
	样本个数 Samples No.	R^2	RMSE	样本个数 Samples No.	R^2	RMSE
PLS	138	0.701	0.672	68	0.695	0.534

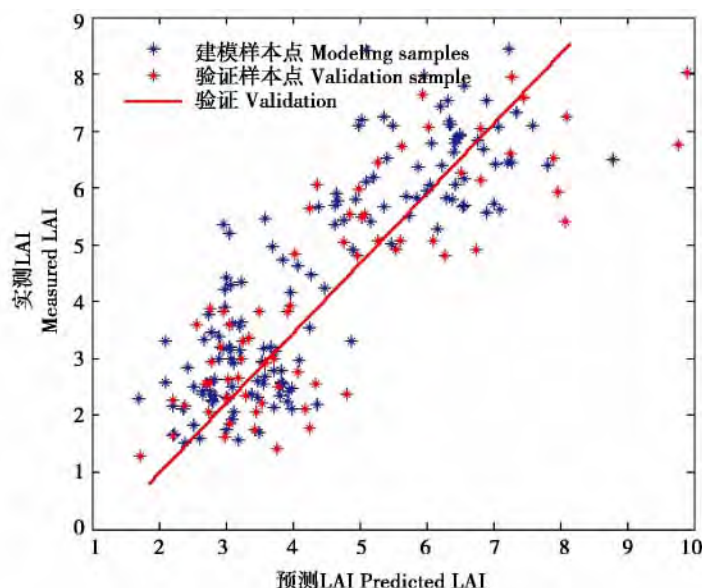


图 6 GRA-PLS-AIC 对建模集和验证集叶面积指数预测值与实测值之间的关系

Fig. 6 GRA-PLS-AIC for modeling and validation sets the relationship between the leaf area index predicted and the measured values

大豆生殖生长期 LAI 反演模型为

$$\text{LAI} = -34.344 + 0.067\text{TVI} + 41.936\text{RVI} - 1.521\text{NDVI}_{705} - 256.061\text{NDVI} + 274.102\text{RDVI} \quad (4)$$

式中: LAI 为叶面积指数, RVI、TVI、NDVI₇₀₅、NDVI 和 RDVI 是 5 种植被指数。

2.4 研究区大豆 LAI 反演

利用大豆生殖生长期 LAI 反演模型对研究区的生殖生长期的的大豆叶面积指数进行反演,反演结果如图 7 所示。图中有些小区的大豆叶面积指数在 1 以下,原因:(1) 该实验区气候比较干燥,造成大豆缺水,导致叶片萎缩。(2) 大豆品种中有一些是早熟大豆,成熟后的大豆叶片会脱落。(3) 那些小区

的大豆可能受到病虫害得影像,也会导致叶面积指数在 1 以下的情况。从图中可以看出叶面积指数在结荚期中达到最大,从结荚期后叶面积指数慢慢降低。

图 7 中将大豆生殖生长期的 LAI 分布情况专题图和根据地面实测的 LAI 数据进行对比可以看出,反演结果基本上反映了研究区大豆生殖生长期的叶面积指数的真实情况,说明通过无人机同步搭载的高清数码相机与成像高光谱仪获取的影像数据来进行大豆叶面积指数反演是可行的,这为辅助大豆育种提供了一种简洁有效的技术手段。

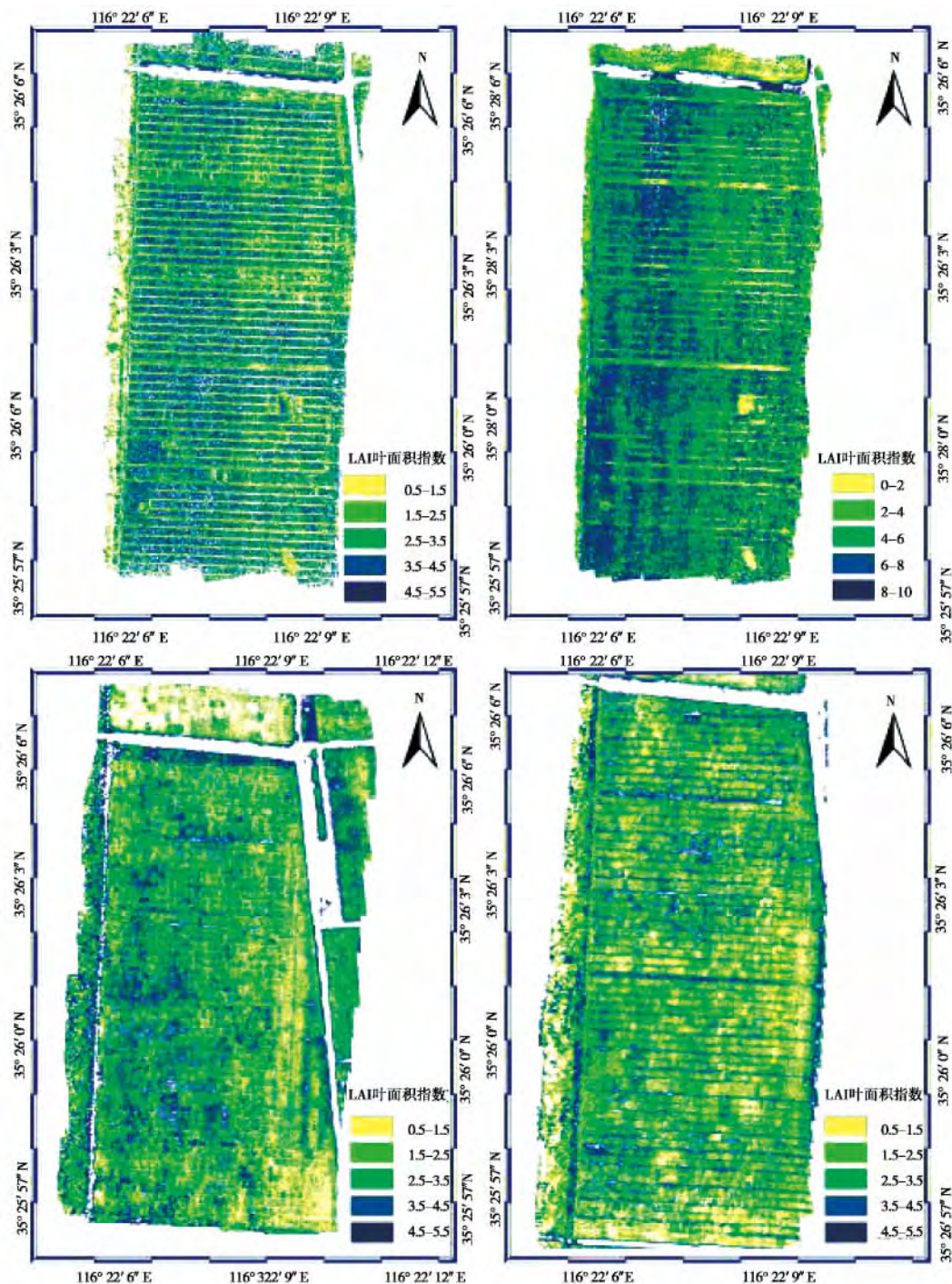


图7 研究区内大豆开花期、结荚期、鼓粒期和成熟期的叶面积指数

Fig. 7 Leaf area index of soybean flowering podding fulling and mature stages in the study area

3 结论与讨论

当今, 无人机遥感技术已经普遍应用于农业研究, 通过无人机搭载高清数码相机和多光谱传感器开展无人机遥感数据获取, 已经取得了较好的研究成果。然而利用无人机搭载成像高光谱仪开展无人机遥感数据获取进行叶面积指数反演, 最终辅助农作物育种还鲜有报道。高光谱分辨率遥感是在电磁波谱的可见光、近红外、中红外和热红外波段范围内, 获取许多非常窄的光谱连续的影像数据的

技术, 其成像光谱仪可以收集到上百个非常窄的光谱波段信息。高光谱成像是相对多光谱成像而言, 通过高光谱成像方法获得的高光谱图像与通过多光谱成像获取的多光谱图像相比具有更丰富的图像和光谱信息, 因此本文采用八旋翼无人机为平台同步搭载成像高光谱仪和高清数码相机组成农业无人机遥感监测系统。通过收集的高清数码影像和成像高光谱数据进行大豆叶面积指数反演, 分析了大豆生殖生长期的植被指数与叶面积指数的相关性。由于高光谱波段维数比较多, 通过敏感波段

的筛选,选出的敏感波段参与植被指数的构建,得出几种植被指数与大豆 LAI 显著相关。本文通过灰色关联排序、赤池信息量准则和偏最小二乘法 (GRA-PLS-AIC) 选择了三角植被指数 (TVI)、比值植被指数 (RVI)、红边植被指数 ($NDVI_{705}$)、归一化植被指数 (NDVI) 和重归一化植被指数 (RDVI) 5 种植被指数,结合田间实测的叶面积指数数据,采用经验模型构建多指数反演模型,并进行模型验证。结果表明:由 5 种植被指数建立线性回归模型能很好的反演大豆的叶面积指数 ($R^2 = 0.701$, RMSE = 0.672)。其反演结果较好地反映了大豆生殖生长期的叶面积指数的分布情况,说明了开展基于微型无人机搭载成像高光谱仪的农业遥感是可行的,为以后能推广八旋翼无人机为平台同步搭载高清数码相机与成像高光谱仪构成的农情监测系统精确反演农作物叶面积指数提供了依据,为辅助农作物育种提供一种快速有效的技术手段。

然而,研究中仍有许多不足,首先,本文采用的叶面积指数方法是传统的经验法,植被指数的准确性和普适性难以保证;其次,通过无人机搭载成像高光谱仪来反演叶面积指数,这只试用于中小范围,想要大面积区域反演植物的叶面积指数较难实现;最后,高光谱遥感由于原始数据信息量大、波段多且信息冗余度高等因素,带来了数据处理与分析的极大挑战。

参考文献

- [1] 王希群, 马履一, 贾忠奎, 等. 叶面积指数的研究和应用进展 [J]. 生态学杂志, 2005(5): 537-541. (Wang X Q, Ma L Y, Jia Z K, et al. Research and application advances in leaf area index [J]. Chinese Journal of Ecology, 2005(5): 537-541.)
- [2] 杨飞, 张柏, 宋开山, 等. 大豆叶面积指数的高光谱估算方法比较 [J]. 光谱学与光谱分析, 2008(12): 2951-2955. (Yang F, Zhang B, Song K S, et al. Comparison of methods for estimating soybean leaf area index [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2008(12): 2951-2955.)
- [3] 程志庆, 张劲松, 孟平, 等. 植被参数高光谱遥感反演最佳波段提取算法的改进 [J]. 农业工程学报, 2015(12): 179-185. (Cheng Z Q, Zhang J S, Meng P, et al. Improvement of algorithm used for extraction hyperspectral feature bands of vegetation [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2015(12): 179-185.)
- [4] 高林, 杨贵军, 王宝山, 等. 基于无人机遥感影像的大豆叶面积指数反演研究 [J]. 中国生态农业学报, 2015(7): 868-876. (Gao L, Yang G J, Wang B S, et al. Soybean leaf area index retrieval with UAV remote sensing imagery [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015(7): 868-876.)
- [5] 杨贵军, 李长春, 于海洋, 等. 农用无人机多传感器遥感辅助小麦育种信息获取 [J]. 农业工程学报, 2015(21): 184-190. (Yang G J, Li C C, Yu H Y, et al. UAV based multi-load remote sensing technologies for wheat breeding information acquirement [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2015(21): 184-190.)
- [6] 杨贵军, 万鹏, 于海洋, 等. 无人机多光谱影像辐射一致性自动校正 [J]. 农业工程学报, 2015(9): 147-153. (Yang G J, Wang P, Yu H Y, et al. Automatic radiation uniformity correction of multispectral imagery acquired with unmanned aerial vehicle [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2015(9): 147-153.)
- [7] 陈雪洋, 蒙继华, 杜鑫, 等. 基于环境星 CCD 数据的冬小麦叶面积指数遥感监测模型研究 [J]. 国土资源遥感, 2010(2): 55-58. (Chen X Y, Meng J H, Du X, et al. Based on environmental star CCD data of winter wheat leaf area index of remote sensing monitoring model research [J]. Remote Sensing for Land, 2010(2): 55-58.)
- [8] 张晓倩, 郭琳, 马尚杰, 等. 利用时序合成孔径雷达数据监测水稻叶面积指数 [J]. 农业工程学报, 2014(13): 185-193. (Zhao X Q, Guo L, Ma S J, et al. Monitoring rice leaf area index using time-series SAR data [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2014(13): 185-193.)
- [9] Gong P, Pu R, Biging G S, et al. Estimation of forest leaf area index using vegetation indices derived from Hyperion hyperspectral data [J]. Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(6): 1355-1362.
- [10] Gupta R, Vijayan D, Prasad T. Comparative analysis of red-edge hyperspectral indices [J]. Advances in Space Research, 2003, 32(11): 2217-2222.
- [11] Haboudane D, Miller J R, Pattey E, et al. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture [J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 90(3): 337-352.
- [12] 吉海彦, 王鹏新, 严泰来. 冬小麦活体叶片叶绿素和水分含量与反射光谱的模型建立 [J]. 光谱学与光谱分析, 2007(3): 514-516. (Ji H Y, Wang P X, Yan T L, et al. Estimations of chlorophyll and water contents in live leaf of winter wheat with reflectance spectroscopy [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2007(3): 514-516.)
- [13] 宋开山, 张柏, 王宗明, 等. 基于人工神经网络的大豆叶面积高光谱反演研究 [J]. 中国农业科学, 2006(6): 1138-1145. (Song K S, Zhang B, Wang Z M, et al. Soybean LAI estimation with in-situ collected hyperspectral data based on BP-neural networks [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006(6): 1138-1145.)
- [14] 王秀珍, 黄敬峰, 李云梅, 等. 水稻叶面积指数的高光谱遥感估算模型 [J]. 遥感学报, 2004(1): 81-88. (Wang X Z, Huang J F, Li Y M, et al. The study on hyperspectral remote sensing estimation models about LAI of rice [J]. Journal of Remote Sensing, 2004(1): 81-88.)
- [15] 付元元, 杨贵军, 冯海宽, 等. 基于高光谱维数约简与植被指数估算冬小麦叶面积指数的比较 [J]. 农业工程学报, 2012(23): 107-113. (Fu Y Y, Yang G J, Feng H K, et al. Comparison of winter wheat LAI estimation methods based on hyperspectral dimensionality reduction and vegetation index [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2012(23): 107-113.)
- [16] 王仁红, 宋晓宇, 李振海, 等. 基于高光谱的冬小麦氮素营养指数估测 [J]. 农业工程学报, 2014(19): 191-198. (Wang R H, Song X Y, Li Z H, et al. Estimation of winter wheat nitrogen nutrition index using hyperspectral remote sensing [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2014(19): 191-198.)
- [17] 张柏, 宋开山, 张渊智, 等. 大豆叶面积的高光谱模型 [J]. 沈阳农业大学学报, 2005(4): 396-400. (Zhang B, Song K S, Zhang Y Z, et al. Hyper spectral model for estimation soybean LAI [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2005(4): 396-400.)
- [18] 杨福芹, 冯海宽, 李振海, 等. 基于赤池信息量准则的冬小麦叶面积指数估算 [J]. 农业机械学报, 2015(11): 112-120. (Yang F Q, Feng H K, Li Z H, et al. Estimation of leaf area index of winter wheat based on Akaike's information criterion [J]. Journal of Agricultural Machinery, 2015(11): 112-120.)