

网络出版时间:2016-01-26

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1359.S.20160126.1946.030.html>

利用 RADARSAT-2 雷达数据与改进的水云模型反演冬小麦叶面积指数

陶亮亮^{1,2}, 李京^{1,2}, 蒋金豹³, 陈曦^{1,2}, 蔡庆空³

(1. 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 2. 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875; 3. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083)

摘要: 利用微波遥感反演植被参数往往受到植被分布不均、稀疏植被覆盖、地表裸土等因素影响, 导致微波遥感用于农业参数估计的效果不佳。为解决微波遥感反演地表植被参数的问题, 本研究在原有的水云模型基础上引入植被覆盖度以及裸土对于雷达后向散射系数的直接作用信息, 提出一种改进的水云模型, 并充分考虑地表植被的覆盖分布情况, 结合地面实测数据及 RADARSAT-2 雷达数据对改进模型进行验证, 然后根据改进模型通过查找表法反演出植被含水量, 最后利用叶面积指数与植被含水量的经验关系间接得到叶面积指数的估测值。结果表明, 改进的水云模型对后向散射系数的模拟精度比原有的水云模型精度高, 模拟的决定系数在 HH 和 VV 极化时分别为 0.850 和 0.739, 均方根误差分别为 0.918 dB 和 1.475 dB。由此可见, 改进的模型对研究区植被条件更为敏感, 能够较好地分离出植被与土壤信息对雷达后向散射系数的影响, 同时利用其反演得到的叶面积指数精度较高, 决定系数达到 0.841, 均方根误差为 0.233。

关键词: 水云模型; RADARSAT-2; 叶面积指数; 植被覆盖度; 植被含水量; 后向散射系数

中图分类号: S512.1; S314

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2016)02-0236-07

Leaf Area Index Inversion of Winter Wheat Using RADARSAT-2 Data and Modified Water-cloud Model

TAO Liangliang^{1,2}, LI Jing^{1,2}, JIANG Jinbao³, CHEN Xi^{1,2}, CAI Qingkong³

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. College of Geosciences and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: The inversion of vegetation parameters using microwave remote sensing is usually affected by the heterogeneous distribution of vegetation, sparse vegetation cover and the influence from bare soil, which leads to the unsatisfactory results in parameter estimation for agricultural applications. In this study, in order to solve the problem of surface vegetation parameters retrieval using microwave remote sensing, a modified water-cloud model was developed to retrieve leaf area index (LAI) by adding vegetation coverage and the direct effect of bare soil on the total backscatter coefficients, which gave full consideration to the distribution of vegetation coverage. The modified model was validated between the simulated backscatter coefficients and measurements based on ground observations and RADARSAT-2 data in China. Consequently, a look-up table algorithm was applied to calculate the value of vegetation water content and retrieve LAI according to the linear relationship between the vegetation water con-

收稿日期: 2015-09-01

修回日期: 2015-09-29

基金项目: 北京共建项目“北京雨洪灾害监测与风险评估”

第一作者 E-mail: taoliangliang2007@163.com

通讯作者: 李京 (E-mail: lijing@bnu.edu.cn)

tent and LAI. Results indicated that the modified model was more sensitive to the vegetation condition and the estimation accuracy was higher than that of water-cloud model. The R^2 and RMSE were 0.850 and 0.739 dB in HH polarization, 0.918 and 1.475 dB in VV polarization, respectively. Meanwhile, the modified model could effectively distinguish the scattering influences produced by the vegetation cover and bare soil component on the backscatter coefficients. The accuracy of LAI retrieval was significantly high with the R^2 and RMSE of 0.841 and 0.233. This method provides support to estimate the LAI of winter wheat using radar data in a wide range.

Key words: Water-cloud model; RADARSAT-2; Leaf area index; Vegetation coverage; Vegetation water content; Backscatter coefficient

叶面积指数(leaf area index, LAI)作为表征植被生长和发育状态的一个重要参数,描述了植被叶片生长与叶密度间的变化关系,在农业、生态、气候变化等研究领域有着广泛的应用^[1-3]。光学遥感作为目前 LAI 大范围监测的主要途径,主要有范围广、波段多、无破坏等特点^[4],然而光学遥感会受到云层、气溶胶等因素影响,因此这些因素为 LAI 的遥感估测带入了极大的不确定性。而合成孔径雷达(SAR)不受天气影响,可以用于全天候、全天时监测,从而给 LAI 的连续观测提供了可能,同时在时间与空间分辨率上也有一定的精度保证。

目前, LAI 的反演方法主要包括经验模型法、物理模型法及经验-半经验反演方法 3 类。经验模型法主要是建立植被指数与 LAI 之间的线性或非线性关系,从而获取 LAI 值,但是这种方法不具有普适性,对研究区的植被类型、区域特点有较大的依赖性。物理模型法能够较好地模拟植被的生理生化特征,普适性较好,但模型较复杂,输入的结构参数较多,计算繁琐。而经验-半经验方法基于简化的物理原理,包含的结构参数较少,同时具备经验模型与物理模型的优点,比经验模型对于植被特征的模拟更准确,且比物理模型更简单、有效,因此更适合 LAI 的田间反演。

应用最广的半经验模型为水云模型(Water-cloud model, WCM),其由 Attema 和 Ulaby 于 1978 年提出^[5],常被应用于地表土壤水分、植株水分、LAI、生物量等的反演中^[6-9]。Ulaby 等^[6]通过水云模型建立总的后向散射系数与冠层 LAI 的相关关系,认为在 LAI 值大于 0.5 的情况下,雷达频率为 8.6、13.0、17.0 及 35.6 GHz 时,总的后向散射系数的变化与绿叶 LAI 的变化有关。Prevot 等^[7]基于 C 和 X 波段的雷达数据,采用水云模型对冬小麦的 LAI 及地表土壤水分进行反

演,均方根误差分别为 0.64 和 0.065。Inoue 等^[10]采用多种频率、多种入射角的雷达数据,结合水云模型对作物 LAI 和生物量进行研究,结果表明 LAI 与 C 波段 HH 和交叉极化数据有较好的关系,而生物量与 L 波段的 HH 和交叉极化有较好的关系。由于水云模型对各参数的反演精度相对较低,因此许多研究对水云模型进行改进与校正,取得了一定的效果^[11-15]。Svoray 等^[12]通过引入绿色植被的体积密度来反映草本植被与灌木植被散射机制的差异,从而获取较精确的植被生物量值,决定系数达到 0.82。Beriaux 等^[13]对水云模型的参数进行校正,并结合 C 波段 VV 极化雷达数据进行验证,结果表明,估计得到的 LAI 的 RMSE 平均为 0.26,最高为 0.56。Kweon 等^[14]通过在水云模型中加入叶倾角分布的平均标准差,进而精确估计植被冠层散射部分对后向散射系数的角度影响,实验数据验证结果表明,估计的后向散射系数与测量值的 RMSE 小于 1.5 dB。然而这些研究得到的植被参数估计值精度均较低,且未充分考虑植被覆盖情况以及裸土地表对反演精度的影响。

本研究在水云模型的基础上加入植被覆盖度以及裸土对雷达信号的影响,充分考虑植被与土壤的实际分布情况,使得模型对地表植被覆盖状态的刻画更加准确,同时结合 2014 年在陕西关中平原地区的冬小麦地面试验以及 RADARSAT-2 雷达数据,对改进的模型进行验证,同时利用查找表法以及 LAI 与植被含水量的定量关系对小麦 LAI 进行反演,获取研究区的 LAI 估测值。

1 研究区和数据源

1.1 研究区与试验

研究区位于陕西省关中平原的部分地区,包括杨凌、扶风、武功等区域,以杨凌国家农业示范

基地为主要试验区(图1),其地处北纬 $34.1^{\circ} \sim 34.5^{\circ}$,东经 $107.8^{\circ} \sim 108.3^{\circ}$,占地面积近 $34\ 000\text{ km}^2$,海拔高度为 $431 \sim 563\text{ m}$,属于暖温带半湿润大陆性季风气候,气候温和,多年平均气温 13°C ,雨量适中,年均降水量 $636.1 \sim 663.9\text{ mm}$,研究区以小麦玉米轮作为主,小麦生长季从10—11月到第二年的5—6月,生育期长达180 d左右。

试验在2014年3月28日到3月30日之间进行,在研究区内共设立三个小麦观测区,每个观测区根据种植面积设立不同的固定观测点,对于每个观测点,试验主要记录田块内小麦的生育期、株高、播种密度、LAI、地表 $0 \sim 10\text{ cm}$ 的土壤水分、地表粗糙度等参数。LAI主要采用LI-COR LAI2000进行测量,测得的数据范围为 $1.2 \sim$

4.9。土壤水分含量利用时域反射仪(TDR)的 7.6 cm 探针测定,选取样点共112个,测定时每个样点周围均匀采集五个点的土壤水分含量数据,然后取这五个点的平均值作为该点的土壤水分含量值,测得的土壤水分数据范围为 $8.2\% \sim 58.3\%$ 。另外,在每个观测点随机获取土样和小麦植物样,并分别编号和称取鲜重,然后放入烘箱中,在 105°C 下烘48 h,称其干重。地表粗糙度的提取方法是将 2 m 长的粗糙度板放置于待测地表,对粗糙度地表拍摄照片,然后对拍摄的地表照片进行二值化,获取土壤粗糙度的轮廓曲线,最后提取出土壤粗糙度的参数:均方根高度和表面相关长度^[16]。

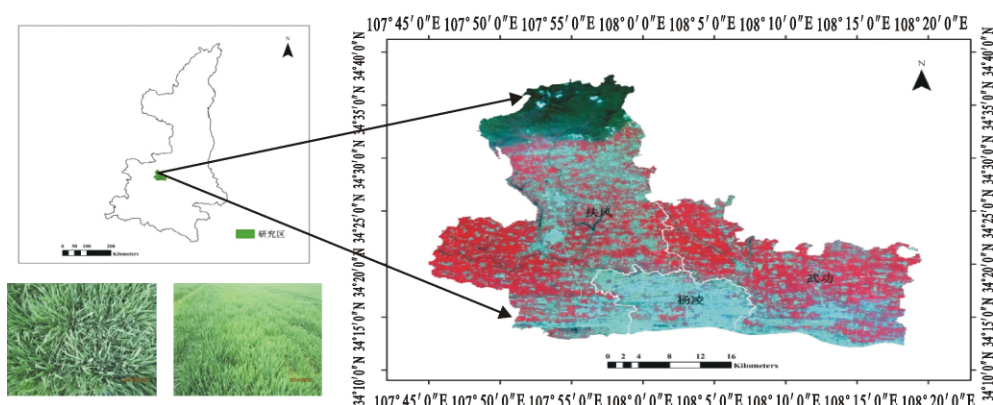


图1 研究区及其冬小麦近景和远景照片

Fig. 1 Study area as well as close- and long-range photos of winter wheat

1.2 卫星数据与预处理

本研究获取2014年3月29日覆盖试验研究区的RADARSAT-2雷达全极化数据产品,近距离入射角约为 27° ,空间分辨率约为 8 m ,中心频率为 5.405 GHz ,幅宽 25 km ,RADARSAT-2数据的预处理主要在Next ESA SAR Toolbox (NEST, version 5.0.16)雷达处理软件中完成,包括辐射和地形校正、幅度-强度图像转换及后向散射系数图像生成,同时利用Enhanced Lee图像滤波算法对数据进行去噪处理,滤波窗口大小为 5×5 ,最后利用20个地面控制点对影像数据进行配准。图2是预处理后雷达假彩色影像,其中暗红色的为小麦种植区,其间混杂有些许建筑。

另外,本研究使用的光学影像为中分辨率多光谱Landsat-8数据,时间分辨率为16 d,幅宽 185 km ,空间分辨率为 30 m ,获取时间为2014年

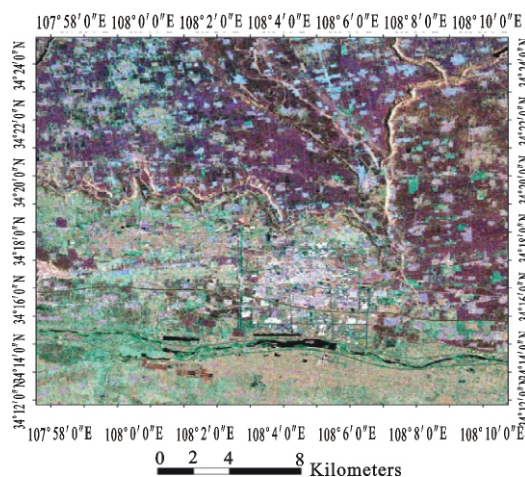


图2 2014年3月29日RADARSAT-2假彩色影像

Fig. 2 False color RGB composition of RADARSAT-2 image acquired on March 29, 2014

3 月 24 日。Landsat-8 数据的适中分辨率、对植被的良好监测能力及数据的连续性使得其成为区域范围水土保持研究中的重要遥感数据源^[17]。该数据的预处理工作在 ENVI 5.0 遥感处理软件中完成,主要包括影像裁剪、辐射校正和大气校正,最后利用地面控制点分别与雷达影像进行配准。

2 研究方法

2.1 水云模型的改进

水云模型是以农作物为研究对象提出的。它对植被覆盖层的散射机制进行了简化。水云模型将植被层假定为一个各向均质的散射体,忽略了植被层与地表之间的相互多次散射,将植被覆盖区的总后向散射系数进行简化,主要包括由植被直接反射回来的体散射项和经作物双次衰减后地面的后向散射项^[18]。该模型表述如下^[19]:

$$\sigma_{can}^0 = \sigma_{veg}^0 + \gamma^2 \sigma_{soil}^0 \tag{1}$$

$$\sigma_{veg}^0 = A \cdot m_{veg} \cdot \cos \theta \cdot (1 - \gamma^2) \tag{2}$$

$$\gamma^2 = \exp(-2B \cdot m_{veg} \cdot \sec \theta) \tag{3}$$

式中 σ_{can}^0 、 σ_{veg}^0 和 σ_{soil}^0 分别为植被后向散射系数、冠层体后向散射系数和土壤背景后向散射系数; γ^2 为雷达波经过冠层的双向衰减; A 为冠层封闭时的雷达后向散射系数; B 为衰减系数; m_{veg} 为单位体积冠层含水量; θ 为雷达波入射角。

水云模型能够模拟不同作物的不同生长条件下的后向散射系数^[20-23]。本研究中,我们引入植被覆盖度以及裸土对雷达信号的影响信息,以考虑地表植被的实际分布状况。改进后的模型表述如下:

$$\sigma_{can}^0 = f_{veg}(\sigma_{veg}^0 + \gamma^2 \sigma_{soil}^0) + (1 - f_{veg})\sigma_{soil}^0 \tag{4}$$

其中植被覆盖度用像元二分模型(DPM)求出,即 $f_{veg} = (NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min})$,式中 NDVI 为从 Landat-8 光学数据计算得到的归一化植被指数;NDVI_{min} 和 NDVI_{max} 分别为完全裸土与完全覆盖情况下研究区域的归一化植被指数。

本研究中,土壤背景后向散射系数由积分方程模型(Integrated Equation Model, IEM)计算得出,积分方程模型是由 Fung A K 等^[24]提出的基于电磁波辐射传输方程的地表散射模型,该模型能够在很宽的地表粗糙度范围内再现真实地表后向散射系数,其 HH 与 VV 极化的后向散射系数可由下式表示:

$$\sigma_{soil}^0 = \frac{k_0^2}{2} \exp(-2k_z^2 s^2) \sum_{n=1}^{\infty} s^{2n} |I_{pq}^n|^2 \frac{W^n(-2k_x, 0)}{n!}$$
$$I_{pq}^n = (2k_z)^n f_{pq} \exp(-2k_z^2 s^2) + \frac{1}{2} \{k_z^2 [F_{pq}(-k_x, 0) + f_{pq}(k, o)]\} \tag{5}$$

其中 pq 为极化方式 HH 或 VV 极化; W^n 为地表粗糙度谱, $k_z = k_0 \cos \theta$; f_{pq} 为基尔霍夫系数; F_{pq} 为菲涅尔反射系数。

2.2 叶面积指数反演模型构建

结合以上方程可以得出,在给定入射角的情况下,HH 与 VV 极化后向散射系数可由下式计算得到:

$$\sigma_p^0 = f(m_{vegp}, m_{vp}, s, l) \tag{6}$$

其中 m_v 为地表土壤水分含量。下标 p 为发射或接收极化,即 H 或 V 极化。 s 为均方根高度, l 为相关长度。

根据试验测得的植被含水量、地表土壤水分及粗糙度参数,结合得到的 RADARSAT-2 雷达数据,采用 Levenberg-Marquardt 非线性最小二乘法计算模型结构参数 A 和 B ,不同极化的参数 A 和 B 的数值见表 1。为了解决式(6)的反演问题,本研究采用建立查找表的方法,通过求取模型模拟的后向散射系数与实测值的误差平方和,选取误差平方和最小的一组值作为反演参数的最优值。

表 1 模型结构参数估计值

Table 1 Estimated values of structural parameters			
	A_{HH}	B_{HH}	A_{VV}
数值	-24.367	2.755	-31.619
Value			B_{VV}
			1.589

为了得到 LAI 的值,本研究随机选取实验测得的 LAI 和植被含水量数据进行分析,结果表明 LAI 与植被含水量存在一定的线性关系(图 3),

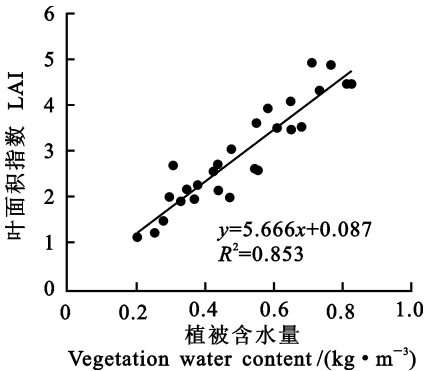


图 3 叶面积指数与植被含水量的线性拟合

Fig. 3 Linear relationship between LAI and vegetation water content

其决定系数达到 0.853。因此通过查找表法得到植被含水量,进而可以得到叶面积指数 LAI 的估计值。

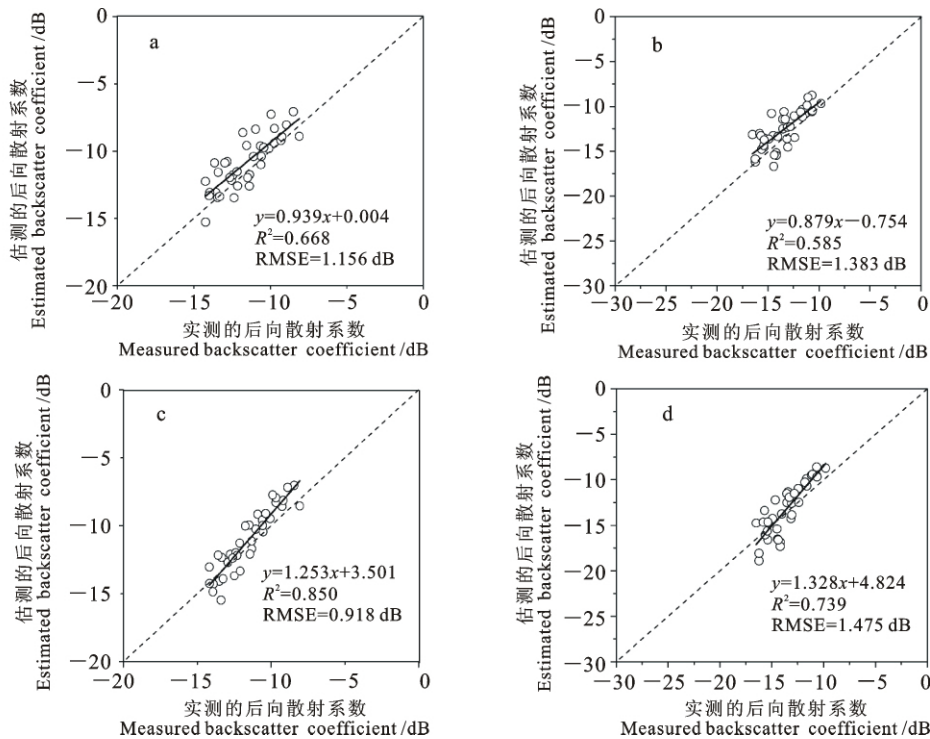
3 结果与分析

3.1 模型验证与分析

为研究改进模型的可靠性,采用试验测得的

野外数据对改进模型和原模型的验证结果进行比较分析。在小麦拔节后期,选取 2/3 的实测数据作为模型训练数据,其余的数据作为验证数据,用于模型模拟后向散射系数的精度验证。

利用小麦拔节后期的后向散射系数实测数据与改进的水云模型和原水云模型模拟的后向散射系数分别进行验证比较,验证结果如图 4 所示。



a: HH 极化的原模型; b: VV 极化的原模型; c: HH 极化的改进模型; d: VV 极化的改进模型

a: original model in HH polarization; b: original model in VV polarization; c: modified model in HH polarization; d: modified model with HH polarization

图 4 改进的水云模型和原模型模拟的后向散射系数与实测值的比较及其验证

Fig. 4 Comparison between measured and simulated backscatter coefficients calculated by the modified and original water-cloud model and validation

从图 4 可以看出,改进模型的模拟精度相对于原模型有较大的提高。对于 HH 极化,改进的水云模型的决定系数从原水云模型的 0.668 提高到 0.850, RMSE 也从 1.156 dB 降低为 0.918 dB,而 VV 极化下的模拟效果也相应得到提高。说明改进的水云模型对于研究区的植被条件比较敏感,通过引入植被覆盖度,使得改进的模型能够充分考虑地表植被覆盖情况,较好地区分植被覆盖与裸土对于雷达后向散射系数的影响,有利于稀疏植被的参数反演。同时无论对于哪种模型,HH 极化的模拟精度都高于 VV 极化,说明在 HH 极化下模型对于植被条件的敏感度比 VV

极化高,更有利于植被参数的反演。

当然,改进的模型在反演过程中也存在一定的误差,主要包括:①粗糙度等参数在计算时是假设粗糙度地表的表面自相关函数满足指数分布,而实际地表比较复杂,使得测得的粗糙度参数值具有一定的不确定性;②地面测量以点为测量单元,而研究所使用的遥感数据空间分辨率为 30 m,使得在模型验证时利用点数据去模拟预测值会产生一定的误差;③从 Landsat-8 光学数据计算得到的植被覆盖分布与实际地表情况的差异也会给模型反演带来误差。

3.2 叶面积指数的获取

根据实验测得的地面数据以及获取的遥感影像,利用查找表法并结合式(6)反演出植被含水量值,通过上文中建立的 LAI 与植被含水量的线性关系,得到研究区 LAI 的估测值。如图 5 所示,利用雷达影像与地面测量数据反演得到的 LAI 具有较高的精度,通过与实验测得的 LAI 拟合比较得出,其决定系数达到 0.841, RMSE 达到 0.233。由此表明本研究所建立的方法适合于作物 LAI 的估算。

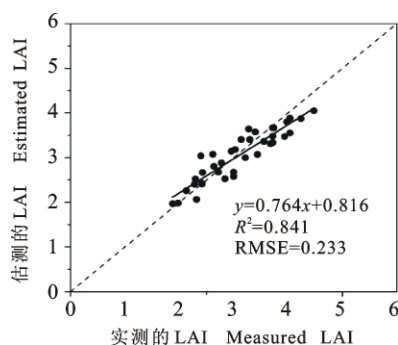


图5 利用 RADARSAT-2 雷达数据反演 LAI 及其验证

Fig.5 LAI retrieval from RADARSAT-2 data and validation

4 讨论

本研究通过引入植被覆盖度及裸土对雷达信号的影响信息,对水云模型进行了改进和优化,并利用研究区的地面观测数据以及 RADARSAT-2 雷达数据对模型进行构建及对反演结果进行验证,结果表明,改进的水云模型可以较好地地区分植被覆盖和裸土各自对雷达信号的影响,与原模型相比,改进模型对研究区植被覆盖下后向散射系数的模拟精度在 HH 和 VV 极化下均优于原模型,同时利用查找表方法及 LAI 与植被含水量的经验关系得到 LAI 估测值,相关系数达到 0.841, RMSE 为 0.233。因此,改进的模型通过考虑植被和裸土的覆盖分布,能够完成从全植被覆盖到稀疏植被覆盖下植株参数的定量反演,为大范围作物参数的获取提供了新思路。此外,由于受到野外实验条件的限制,未获取整个研究区的土壤水分观测值,因此改进模型的普适性还需要进一步验证。

参考文献:

[1]刘镭源,王纪华,杨贵军,等.冬小麦叶面积指数地面测量方法

的比较[J].农业工程学报,2011,27(3):220-224.

Liu R Y, Wang J H, Yang G J, et al. Comparison of ground-based LAI measuring methods on winter wheat [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(3): 220-224.

[2]Thorp K R, Wang G, West A L, et al. Estimating crop biophysical properties from remote sensing data by inverting linked radiative transfer and ecophysiological models [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2012, 124: 224-233.

[3]赵虎,裴志远,马尚杰,等.利用 HJ-1-A/BCCD2 数据反演冬小麦叶面积指数[J].农业工程学报,2012,28(10):172-176.
Zhao H, Pei Z Y, Ma S J, et al. Retrieving leaf area index of winter wheat using HJ-1-A/B CCD2 data [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(10): 172-176.

[4]李鑫川,徐新刚,鲍艳松,等.基于分段方式选择敏感植被指数的冬小麦叶面积指数遥感反演[J].中国农业科学,2012,45(17):3486-3496.

Li X C, Xu X G, Bao Y S, et al. Retrieving LAI of winter wheat based on sensitive vegetation index by the segmentation method [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(17): 3486-3496.

[5]Attema E P W, Ulaby F T. Vegetation modeled as a water cloud [J]. *Radio Science*, 1978, 13(2): 357-364.

[6]Ulaby F T, Allen C T, Eger G, et al. Relating the microwave backscattering coefficient to leaf area index [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1984, 14(1): 113-133.

[7]Prevot L, Champion I, Guyot G. Estimating surface soil moisture and leaf area index of a wheat canopy using a dual-frequency (C and X bands) scatter meter [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1993, 46(3): 331-339.

[8]Taconet O, Vidal-Madjar D, Emblanch C, et al. Taking into account vegetation effects to estimate soil moisture from C-band radar measurements [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1996, 56(1): 52-56.

[9]Champion I, Prevot L, Guyot G. Generalized semi-empirical modeling of wheat radar response [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21(9): 1945-1951.

[10]Inoue Y, Kurosaki T, Maeno H, et al. Season-long daily measurements of multifrequency (Ka, Ku, X, C, and L) and full-polarization backscatter signatures over paddy rice field and their relationship with biological variables [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 81(2): 194-204.

[11]Svoray T, Shoshany M. SAR-based estimation of areal aboveground biomass (AAB) of herbaceous vegetation in the semi-arid zone: a modification of the water-cloud model [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23(19): 4089-4100.

[12]Svoray T, Shoshany M. Herbaceous biomass retrieval in habitats of complex composition: A model merging SAR images with unmixed Landsat TM data [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2003, 41(7): 1592-1601.

- [13] Beriaux E, Lucau-Danila C, Auquier E, *et al.* Multiyear independent validation of the water cloud model for retrieving maize leaf area index from SAR time series [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2013, 34(12): 4156-4181.
- [14] Kweon S K, Oh Y. A modified water-cloud model with leaf angle parameters for microwave backscattering from agricultural fields [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2015, 53(5): 2802-2809.
- [15] Xing M, Quan X, Li X, *et al.* An extended approach for biomass estimation in a mixed vegetation area using ASAR and TM data [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2014, 80(5): 429-438.
- [16] 王 刚. 基于人机交互的半自动土壤粗糙度测量系统[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(11): 226-228.
Wang G. A semiautomatic soil roughness measure system based on human-computer interaction [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2004, 40(11): 226-228.
- [17] 周 鹏, 丁建丽, 王 飞, 等. 植被覆盖地表土壤水分遥感反演[J]. 遥感学报, 2010 (5): 959-973.
Zhou P, Ding J L, Wang F, *et al.* Retrieval methods of soil water content in vegetation covering areas based on multi-source remote sensing data [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2010, 14(5): 959-973.
- [18] 刘万侠, 刘旭拢, 王 娟, 等. 华南农作物覆盖区土壤水分 ENVISAT-ASAR 与 MODIS 数据联合反演算法研究[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(3): 39-43.
- [19] Bindlish R, Barros A P. Parameterization of vegetation backscatter in radar-based, soil moisture estimation [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2001, 76(1): 130-137.
- [20] Moran M S, Vidal A, Troufleau D, *et al.* Ku and C-band SAR for discriminating agricultural crop and soil conditions [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1998, 36(1): 265-272.
- [21] Champion I, Prevot L, Guyot G. Generalized semi-empirical modelling of wheat radar response [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21(9): 1945-1951.
- [22] Graham A J, Harris R. Estimating crop and waveband specific water cloud model parameters using a theoretical backscatter model [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23(23): 5129-5133.
- [23] Inoue Y, Kurosu T, Maeno H, *et al.* Season-long daily measurements of multifrequency (Ka, Ku, X, C, and L) and full-polarization backscatter signatures over paddy rice field and their relationship with biological variables [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 81(2): 194-204.
- [24] Fung A K, Li Z, Chen K S. Backscattering from a randomly rough dielectric surface [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1992, 30(2): 356-369.

欢迎订阅 2016 年《麦类作物学报》

《麦类作物学报》是由西北农林科技大学、中国作物学会、国家小麦工程技术研究中心联合主办(教育部主管)的专业性学术期刊,也是全国唯一的一份麦类作物专刊。主要刊载麦类作物(小麦、大麦、燕麦、黑麦等)遗传育种、生理生化、栽培管理、食品加工、产品贸易等方面有创见性的学术论文、领先水平的科研成果、学术报告、有新意的文献综述以及学术动态等。读者对象为国内外农业科技人员、农业院校师生及高级农业技术推广和管理人员。

《麦类作物学报》为“农业科学中文核心期刊”、“中国科技核心期刊”、“中国科技精品期刊”,现已被英国《国际农业与生物技术文摘》数据库(CABI)、美国《化学文摘》数据库(CA)、美国《剑桥科学文摘》数据库(CSA)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)数据库、日本《科学技术》数据库(JST)、波兰《哥白尼索引》数据库(IC)、《中国科学引文数据库》(核心库)等国内外多家权威性检索系统收录。影响因子排名已连续 3 年居全国农业期刊前 10 位。

《麦类作物学报》为月刊,每月中旬出版,定价 30.00 元/册,全年 360 元,国内刊号:CN61-1359/S,国际刊号:1009-1041。全国各地邮局均可订阅,邮发代号:52-66。漏订者可直接汇款至编辑部补订。国外总发行:北京 中国国际图书贸易总公司,代号:1479B。

热忱欢迎国内外专家随时指导和赐稿,亦欢迎各有关课题组、单位和个人出版专辑、刊登广告。

联系人:华千勇 电 话:029-87082642(兼传真)

通讯地址:陕西杨凌 邠城路 3 号《麦类作物学报》编辑部; 邮政编码:712100

网 址: <http://www.tcrop.net>; <http://mlzwxw.alljournals.ac.cn/> (两个网址是同一个网站。有在线投稿、在线查询稿件等在线办公系统)