

# 基于 MODIS 数据的玉米植被 参数估算方法的对比分析

杨 飞<sup>1,2</sup>, 张 柏<sup>1</sup>, 王宗明<sup>1</sup>, 宋开山<sup>1</sup>, 刘殿伟<sup>1</sup>, 刘焕军<sup>1,2</sup>,  
国志兴<sup>1,2</sup>, 新华安<sup>1,2</sup>, 李凤秀<sup>1,2</sup>, 杜 嘉<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:**基于实测数据建立了 FPAR、LAI 的植被指数估算模型(NDVI、RVI、NDWI),并将其应用于 MODIS BRDF 数据对德惠地区玉米 FPAR、LAI 进行估算,然后将 MODIS 15A2 FPAR/LAI 产品值分别与 BRDF 估算值、地面实测值进行对比分析。主要得出以下结论:植被指数 NDVI、RVI 都能较好地用于实测数据和 MODIS BRDF 数据的 FPAR、LAI 估算;NDWI 虽然在实测数据中估算玉米 FPAR、LAI 的效果优于 NDVI、RVI,但其应用于 MODIS BRDF 数据估算 FPAR、LAI 时,效果却较差。BRDF 数据估算 FPAR 与 MODIS 15A2 FPAR 值的关系因生长时期不同而异,在玉米生长前期,前者高于后者,而生长后期两者却较相近;BRDF 估算 LAI 值一直都高于 MODIS 15A2 LAI 产品值。生长季前期,MODIS 15A2 FPAR、LAI 值接近实测值,而在后期却高于实测值。通过分析也表明,玉米苗期 MODIS 15A2 FPAR 数值变化范围较小,产品算法对实际 FPAR 变化尚不够敏感,这可能是影响 MODIS FPAR 产品精度的一个原因。

**关键词:**玉米;FPAR;LAI;MODIS;BRDF

**中图分类号:** TP 79      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1004-0323(2008)02-0147-07

## 1 引 言

植物的光合作用是植物叶片吸收光能和转换光能的过程。植物吸收性光合有效辐射分量(Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation, FPAR)是植被水分、能量及碳循环平衡的重要检测指标<sup>[1]</sup>,叶面积指数(Leaf Area Index, LAI)对于植被光合作用能量交换具有十分重要的意义。叶面积越大,FPAR 越大,光合作用越强,植物群体的叶面积越大,植物干物质积累越多,生物量越大。LAI 和 FPAR 与植被生态生理、叶片生物化学性质、蒸散、冠层光截获、地表净第一生产力、作物产量等密切相关。因此 LAI 和 FPAR 也成为生态系统功能模型、作物生长模型、净初级生产力模型、大气

模型、生物地理化学模型、生态模型等的两个重要陆地特征参量<sup>[2~5]</sup>。

目前国内外 FPAR/LAI 研究大多集中于这两者与各植被指数之间关系的经验模型,或者辐射传输物理模型研究,研究对象常为森林和农作物。经验模型估算 FPAR/LAI 研究中,大多选用归一化植被指数(Normalized Vegetation Difference Index, NDVI)<sup>[6~9]</sup>。也有一些简单或复杂的辐射传输模型,如 SAIL(Scattering-from-Arbitrarily-Inclined-Leaves)、三维辐射传输模型等<sup>[10~12]</sup>。三维辐射传输模型在 MODIS、MISR 传感器的应用就是一个典型实例,MODIS 数据可以提供多波段信息,更重要的特性就是可以提供日、旬、月、年等各个时间段的多种产品。

收稿日期:2007-12-01;修订日期:2008-03-03

基金项目:中国科学院东北振兴科技行动计划重点项目“吉林省农作物遥感监测空间系统建设”;中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX-SW-356);国家自然科学基金项目(40401003);中国科学院资源环境领域野外台站基金。

作者简介:杨飞(1981—),男,博士研究生,研究方向为植被高光谱定量遥感及其应用研究。E-mail:yangf00\_1@163.com。

通讯作者:张柏(1962—),男,博士,研究员,博士生导师,主要从事地理遥感应用研究。E-mail:zhangbai@neigae.ac.cn。

MODIS 数据产品获取 FPAR、LAI 主要应用两种算法:查找表方法和经验模型算法。MODIS LAI/FPAR 产品首先以三维辐射传输模型理论为基础,建立各种生物群特征下的 LAI/FPAR 查找表(Look Up Table, LUT),这是 MODIS 数据提取的主(main)算法。此算法考虑多种生物群类型、各种代表性的冠层结构及土壤类型条件,通过比较传感器观测反射率值和双向反射率因子(Bi-directional reflectance factor, BRDF)模型反射率值(存于 LUT 中),对比查找表,得到每个像元 LAI/FPAR 值。当算法中一些输入参数的不确定值较大或缺少某些参数信息时,主(main)算法的 LUT 就会失效,此时则采用各种生物群的 LAI/FPAR-NDVI 经验模型来代替<sup>[11~13]</sup>。同时,主算法和经验模型法的估算 FPAR/LAI 的精度需要评估和验证,以诊断各种因子的影响,并对算法加以改进<sup>[14~18]</sup>。

本文通过地面实测数据,建立较为准确的玉米 LAI/FPAR 估算模型,结合 MODIS 双向反射率分布函数数据(Bidirectional Reflectance Distribution Function, BRDF)估算 FPAR、LAI,将其与 MODIS15A2 产品进行对比分析,同时将 MODIS15A2 产品与实测 FPAR、LAI 值进行对比分析,为准确估算和应用 FPAR、LAI 提供科学依据。

## 2 材料与方法

### 2.1 数据来源

于 2007 年在长春市吉林农业大学试验地(分别于 6 月 15 日、7 月 5 日、7 月 22 日、8 月 19 日)、德惠市(分别于 6 月 26 日、8 月 6 日)两个野外实验地,对玉米冠层光谱反射率和光合有效辐射各分量进行测量,共 99 组实测数据。

光谱数据测量使用 FieldSpec Pro FR 高光谱仪,光谱范围为 350~2 500 nm,视场角为 25°,重采样间隔为 1 nm。在每个样点采集光谱之前都进行白板标定,每个测试点采集 12~14 条光谱曲线,取其平均值作为该样点的光谱反射率,测量时保持探头垂直向下,并与冠层顶相距约 2 m 左右。所有的观测均选择在晴朗无风天气。

光合有效辐射测量与光谱反射率测量保持同步。测量光合有效辐射本文使用美国 LI-COR 公司生产的 LI-191SA 线性光量子传感器和 LI-250 光照计,LI-191SA 线性光量子传感器感应面积约 1 m×12.7 mm,感应波长为 400~700 nm,测量结果输出单位为  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ,测量结果为感应面积范围内

的空间光合有效辐射的平均值,能够很好地降低空间不一致性的影响;采用 LI-250 人工读取和记录数据。光合有效辐射测量 4 个分量:光合有效辐射冠层上方入射量、反射量、地面上方入射量及地面反射量,在冠层上方测量时,使线性光量子传感器距离冠层上方约 0.5 m,以避免冠层影响,测量冠层下方各分量时距离冠层及地面 0.15 m 左右,每次测量时使水平球尽量保持水平。在玉米冠层较高时,借助 2 m 长的梯子测量冠层上方的光合有效辐射入射和反射量。

玉米叶面积的测定采用 LI-COR 公司生产的 LAI-2000 植被冠层分析仪进行。同时也保证测量点与光谱采集点相同。LAI-2000 冠层分析仪设置为 1 个天空光,6 个测量目标值,探头配有 45°张角的镜头盖(cap)。测量时背向阳光,以尽量避免因太阳光线的直射而引起的测量误差,沿一条垄的玉米根部开始,逐渐向另一垄方向移动,然后再继续向前但由另一垄玉米的根部移向起始垄。

获取 6 月 26 日到 7 月 3 日、8 月 5 日到 8 月 12 日两次 8 d 合成的 1 km 空间分辨率 MODIS 15A2 FPAR 产品<sup>[19]</sup>,同时获取 6 月 26 日到 7 月 3 日、8 月 13 日到 8 月 20 日 8 d 合成的 500 m 空间分辨率 MCD 43A4 星下 BRDF 反射率产品<sup>[20]</sup>。

### 2.2 数据处理

首先利用实测数据,建立应用植被指数估算 FPAR、LAI 的精准模型,并结合 500 m 分辨率的 MODIS BRDF 数据估算德惠 FPAR、LAI 数据。将 MODIS 15A2 FPAR/LAI 产品值、模型估算值、实测数据进行对比分析。

对 MODIS 15A2 FPAR/LAI 产品进行投影变换,并使用双线性内插法重采样成 500 m 空间分辨率,使其与 MCD 43A4 BRDF 反射率产品空间分辨率一致。同时对 BRDF 反射率产品进行投影变换。然后根据德惠两个时期的实测样点经纬度信息,分别提取 BRDF 反射率和 FPAR、LAI 数据。并根据数据质量 QA 数据,去除有云影响及其它不可利用的像元,最后用于数据比较的 LAI/FPAR 像元值全由三维辐射传输模型算法得到,并且所有像元 QC (Quality Control) 值都为 0,即 LAI/FPAR 值均为无云状况下三维辐射传输模型算法得到。数据处理流程图如图 1。

光合有效辐射在传输过程中部分被植被冠层吸收,部分直接及经过冠层后被冠层反射回大气的部分,土壤吸收的部分,因此植被吸收的部分即为:植

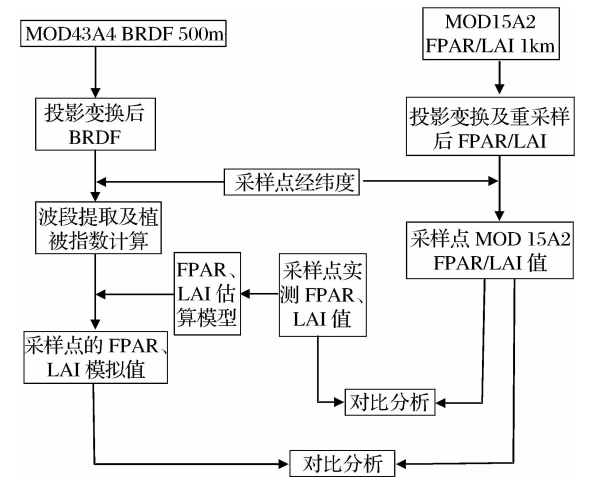


图 1 数据处理及分析流程图

Fig. 1 The flow of data process and analysis

被吸收光合有效辐射=总光合有效辐射-被反射回大气的  
光合有效辐射-土壤吸收的光合有效辐射;  
计算光合有效辐射分量的公式为:

FPAR=[(PAR<sub>ci</sub>-PAR<sub>cr</sub>)-(PAR<sub>gi</sub>-PAR<sub>gr</sub>)]/PAR<sub>ci</sub> (1)

其中:PAR<sub>ci</sub>、PAR<sub>cr</sub>、PAR<sub>gi</sub>、PAR<sub>gr</sub>分别表示冠层上方入射、反射,冠层下方入射,地面反射的光合有效辐射量。

归一化植被指数NDVI、比值植被指数RVI

(Ratio Vegetation Index)、归一化水分植被指数NDWI(Normalized Difference Water Index)计算公式如下<sup>[21~23]</sup>:

NDVI=(R<sub>nir</sub>-R<sub>r</sub>)/(R<sub>nir</sub>+R<sub>r</sub>)  
RVI=R<sub>nir</sub>/R<sub>r</sub>  
NDWI=(R<sub>860</sub>-R<sub>1240</sub>)/(R<sub>860</sub>+R<sub>1240</sub>) (2)

其中:R<sub>nir</sub>、R<sub>r</sub>分别为近红外、红波段的反射率,文中为MODIS的第2、1波段的中心波长反射率,R<sub>860</sub>、R<sub>1240</sub>分别为860nm、1240nm波长的反射率值,文中选用了MODIS的第5、2两个波段中心波长的反射率。

3 FPAR 估算及其对比分析

3.1 FPAR 植被指数估算模型建立

由表1可看出,NDVI、NDWI与FPAR呈较好的线性关系,而RVI与FPAR呈较好的对数关系。NDVI、RVI、NDWI估算FPAR的效果都较好,R<sup>2</sup>分别为0.802、0.822、0.836,特别是实测NDWI数据估算FPAR效果最好。这可能是由于植被进行光合作用与水分含量有较大的关系,而用于计算NDWI的近红外、短波红外波段对植被水分变化较敏感<sup>[24,25]</sup>,因此NDWI也对植被吸收光合有效辐射能力(FPAR)有较好的表现。

表 1 FPAR 的植被指数估算模型

Table 1 FPAR estimating models of vegetation index

名称	Model(FPAR)	R <sup>2</sup>	n	模型 F 检验	Sig F	系数 T 检验	Sig T
NDVI	y=1.229 x-0.280	0.802	99	388.925	0.000	19.721,-6.216	0.000,0.000
RVI	y=0.329 ln(x)-0.061	0.822	99	444.341	0.000	21.079,-1.879	0.000,0.063
NDWI	y=-2.608 x+0.539	0.836	99	490.290	0.000	-22.142,45.234	0.000,0.000

3.2 FPAR 估算值比较分析

由图2可看出,MODIS 15A2 FPAR与实测数据及建立的NDVI、RVI模型估算FPAR值拟合效果一般,R<sup>2</sup>分别为0.692、0.578、0.616,拟合直线斜率也仅为0.492、0.515、0.596。对比表1和图2可看出,虽然3个植被指数估算FPAR精度都较高,而且NDWI与FPAR表现出最好的拟合效果;但将几个植被指数模型应用于MODIS BRDF数据计算FPAR结果却产生了非常明显差异。NDVI、RVI植被指数估算效果较相近,明显好于NDWI模型估算效果。这可能是因为MODIS BRDF数据获取的近短波红外反射率受大气中水分吸收作用较大<sup>[26]</sup>,致使NDWI植被指数变化不明显,估算FPAR效果下降。

由图2可看出,MODIS 15A2产品FPAR值、

植被指数模型模拟的FPAR值及实测FPAR值之间大小关系因生长时期的不同而异。在玉米苗期,MOD15A2产品FPAR值与实测FPAR值相对较为接近,且大于NDVI、RVI模型估算FPAR值。在玉米吐丝期,MOD15A2产品FPAR值小于实测FPAR值,但与NDVI、RVI估算FPAR值较为接近。

图2可看出,苗期的多个实测样点的FPAR数据变化范围较大,在0.23~0.68之间。同样,基于MODIS BRDF数据和植被指数NDVI、RVI估算模型的FPAR模拟值变化范围也较大;而且同期的MODIS 15A2 FPAR产品值变化范围较小,仅在0.38~0.49之间。而在吐丝期FPAR值较大时,MODIS 15A2产品FPAR值表现相对较好,对作物冠层FPAR变化相对较敏感。在作物生长初期

FPAR 值较小时,产品算法得到 FPAR 变化范围较小,这在一定程度上限制了产品的精度,由此可见,

MODIS 15A2 产品 FPAR 值对反射率变化的敏感性及其估算精度都有待于进一步提高。

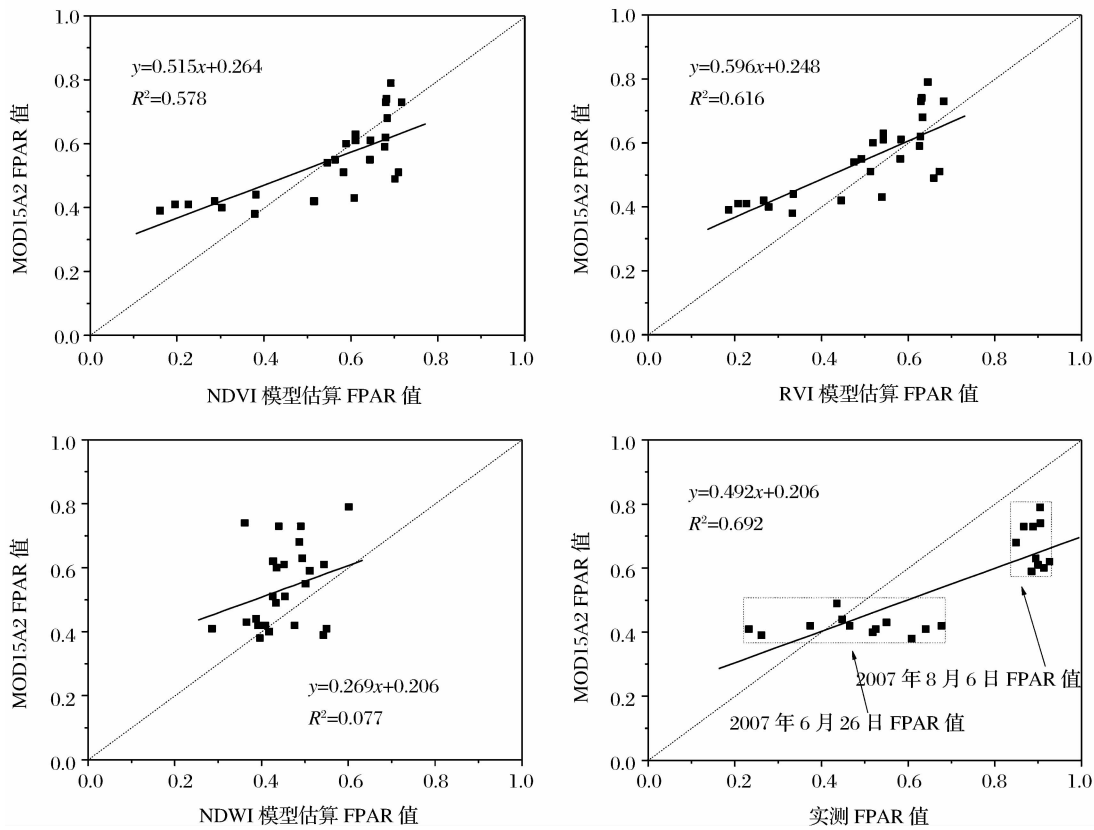


图 2 FPAR 估算结果比较  
Fig. 2 FPAR comparison of different methods

4 LAI 估算及其对比分析

4.1 LAI 植被指数估算模型建立

由表 2 可看出,NDVI、NDWI 与 LAI 呈较好的

指数关系,而 RVI 与 LAI 具有较好的幂函数关系。3 个植被指数估算 LAI 效果也较好, $R^2$  分别为 0.609、0.629、0.659,同 FPAR 估算模型一样,植被指数 NDWI 估算 LAI 的效果最好。

表 2 LAI 的植被指数估算模型  
Table 2 LAI estimating model of vegetation index

名称	Model(LAI)	$R^2$	$n$	模型 $F$ 检验	Sig $F$	系数 $T$ 检验	Sig $T$
NDVI	$y = 0.074e^{3.635x}$	0.609	99	149.609	0.000	12.231,4.649	0.000,0.000
RVI	$y = 0.140x^{0.976}$	0.629	99	163.212	0.000	12.775,6.293	0.000,0.000
NDWI	$y = 0.832e^{-7.859x}$	0.659	99	185.797	0.000	-13.631,17.141	0.000,0.000

4.2 LAI 估算值比较分析

对比表 2 和图 3 可看出,通过实测数据建立的 NDVI、RVI 植被指数模型估算 LAI,与 MODIS 15A2 LAI 产品拟合相对较好, $R^2$  分别为 0.584、0.602,且拟合直线方程斜率较接近于 1,为 1.076、1.304;但是,虽然实测数据建立的 NDWI 估算 LAI 模型精度较高,但其应用于 MODIS BRDF 数据估算 LAI 时,效果非常差, $R^2$  仅为 0.052,斜率也为 0.770。由此可见,大气作用是影响遥感反射率获取

的重要因素。MODIS 15A2 LAI 产品与 LAI 实测数据之间拟合效果也一般, $R^2$  仅为 0.510。  
由图 3 可看出,两个测量时期的 MODIS 15A2 LAI 数值高于由植被指数模型估算的 LAI 值。在玉米苗期,MODIS 15A2 LAI 数值与实测数据拟合较好,基本在 1:1 斜线附近,但是在玉米吐丝期,要低于实测 LAI 值,且分布较为分散。这与国际上的相关研究结果<sup>[16,18]</sup>保持一致。但对于半干旱草地或森林等研究表明,MODIS 15A2 的 LAI 高于实测 LAI 值<sup>[16,17]</sup>。

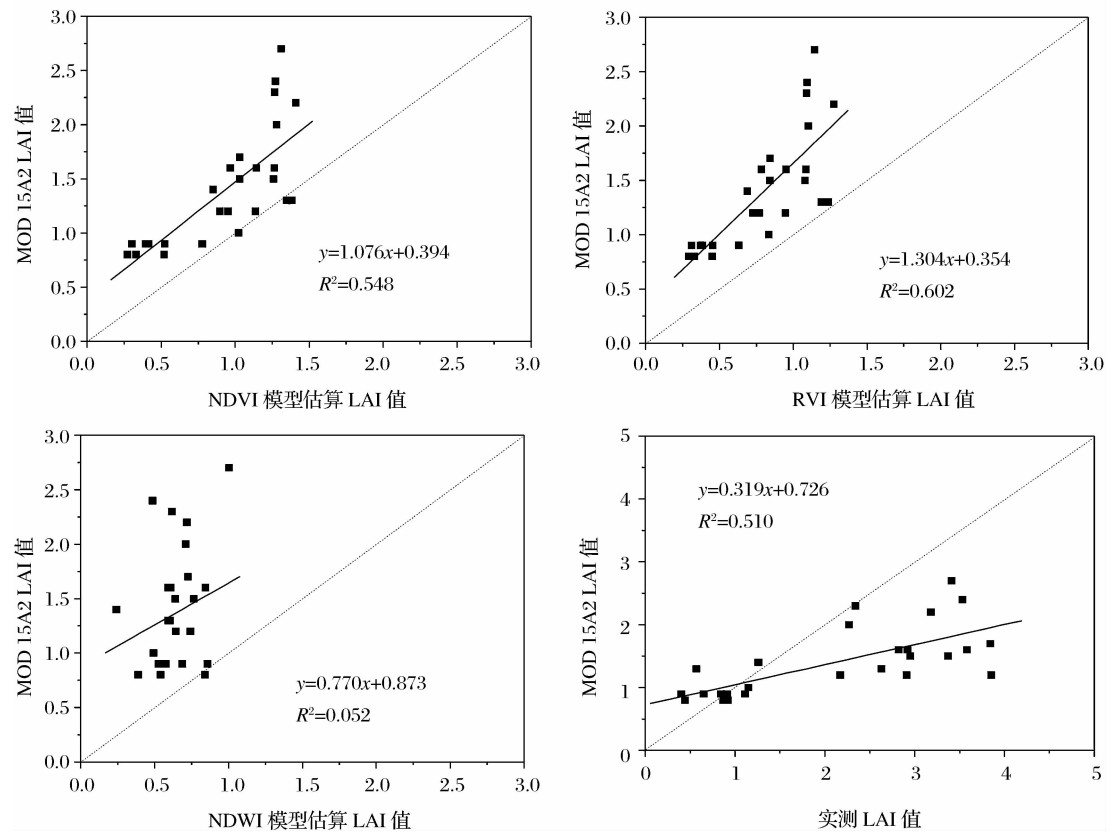


图 3 LAI 估算结果比较

Fig. 3 LAI comparison of different methods

5 讨 论

基于实测数据,估算 FPAR、LAI 时,NDVI、RVI、NDWI 都具有较好的效果,NDWI 甚至好于 NDVI、RVI,但是将模型应用于 MODIS BRDF 数据估算 FPAR、LAI 时,NDWI 却都表现出较差的估算效果。这是由于大气中水汽对近短波红外波段具有较强的吸收作用<sup>[26]</sup>。因此,大气作用仍然是影响遥感准确估算植被参数的重要因素。

由于德惠的两次实测 LAI 值大都小于 3,可以避免 NDVI 易饱和缺陷的影响。对比分析表明,MODIS15A2 产品值总体上高于植被指数模型估算值,LAI 较 FPAR 更为明显。从 MODIS15A2 产品值与各植被指数估算值拟合方程斜率可看出,LAI 较 FPAR 更接近于 1,LAI 产品值与模型估算值具有更好的一致性。

从图 2 和图 3 可看出,通过 MODIS 15A2 FPAR 产品值与 BRDF 数据估算 FPAR 关系因作物生长期而异,玉米苗期前者稍大于后者,玉米吐丝期两者则较相近;而整个生长期植被指数模型估算 LAI 值与 LAI 产品值变化趋势较一致,但前者明显

大于后者。因此可看出,BRDF 数据用于估算 FPAR、LAI 参数时,往往会低估。

多个针对森林 FPAR 验证结果表明,MODIS 15A2 FPAR、LAI 产品值高于实地测量 FPAR、LAI 值<sup>[16,18,27,28]</sup>,也有些研究表明森林生长时期 MODIS15A2 FPAR 产品值小于实测值<sup>[29]</sup>。本文对玉米地带产品研究表明,MODIS 15A2 FPAR、LAI 产品在不同生长期,与实测 FPAR、LAI 值之间有着不同的关系,在玉米生长初期,与实测 FPAR、LAI 值较为接近,而在玉米生长中后期小于实测值,这与其它关于森林 FPAR 研究成果有一定差异。因此说,植被冠层类型对 FPAR、LAI 准确估算都有很大的影响。

6 结 语

本文利用地面实测高光谱数据建立 FPAR、LAI 的精确的 NDVI、RVI、NDWI 植被指数估算模型,并结合准确的 MODIS BRDF 数据估算 FPAR、LAI,与 MODIS 15A2 FPAR/LAI 数据进行比较分析;并将 MODIS 15A2 FPAR/LAI 数据产品与实测数据进行对比分析。得出如下结论。

(1) 实测数据 NDVI、RVI、NDWI 都可以准确地估算 FPAR、LAI, 估算模型精度较高。特别是 NDWI 估算精度最高。但是当模型应用于 MODIS BRDF 数据估算 FPAR、LAI 时, NDWI 估算 FPAR、LAI 的精度较低, 这是因为大气水分对近短波红外反射率影响较大。

(2) 通过 MODIS 15A2 FPAR 产品值与 BRDF 数据估算 FPAR 关系因作物生长期而异, 玉米苗期前者稍大于后者, 玉米吐丝期则较相近; 而整个生长期植被指数模型估算 LAI 与 LAI 产品变化较一致, 且前者大于后者。

(3) 生长季前期, MODIS15A2 FPAR 产品对实际 FPAR 变化表现不够敏感, 如玉米苗期实测值 FPAR 变化范围为 0.23~0.68, 而产品值变化范围为 0.38~0.49, 这在一定程度上限制了 FPAR 的估算精度。FPAR 产品算法需要进一步改进来提高产品估算精度。

(4) 玉米生长前期, MODIS15A2 产品值较接近于实测值, 生长后期产品值小于实测值。玉米 FPAR、LAI 产品验证结果与森林草地等其它地物类型验证结果有明显差别。

#### 参考文献:

- [1] Churkina G, Running S W, Schloss A L. Participants Potsdam NPP Model Intercomparison: Comparing Global Models of Terrestrial Net Primary Productivity (NPP); The Importance of Water Availability [J]. *Global Change Biology*, 1999, 5 (Suppl. 1): 46-55.
- [2] Alexandre A, Meunier J D, Lezine A M, *et al.* Process-Based Boreal Ecosystem Productivity Simulator Using Remote Sensing Inputs [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 62: 158-175.
- [3] Sellers P J, Dickinson R E, Randall D A, *et al.* Modeling the Exchanges of Energy, Water and Carbon between the Continents and the Atmosphere [J]. *Science*, 1997, 275: 502-509.
- [4] Cramer W, Kicklighter D W, Bondeau A. Comparing Global Models of Terrestrial Net Primary Productivity (NPP): Overview and Key Results [J]. *Global Changing Biology*, 1999, (Suppl. 1): 1-15.
- [5] Running S W, Nemani R R, Heinsch F A, *et al.* Continuous Satellite-Derived Measure of Global Terrestrial Primary Production [J]. *Bioscience*, 2004, 54: 547-560.
- [6] Goward S N, Huemmrich K F. Vegetation Canopy PAR Absorptance and the Normalized Difference Vegetation Index: An Assessment Using the SAIL Model [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1992, 39: 119-140.
- [7] Eduardo R, Conde J R, Minguez M I. Estimating FAPAR from Nine Vegetation Indices for Irrigated and Nonirrigated Faba Bean and Semileafless Pea Canopies [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1998, 66(1): 87-100.
- [8] 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, 8(1): 81-88. [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, 8(1): 81-88.]
- [9] Zhou X D, Zhu Q J, Wang J D, *et al.* Interception of PAR, Relationship Between FPAR and LAI in Summer Maize Canopy [J]. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(1): 110-116. [周晓东, 朱启疆, 王锦地, 等. 夏玉米冠层内 PAR 截获及 FPAR 与 LAI 的关系 [J]. *自然资源学*, 2002, 17(1): 110-116.]
- [10] Myneni R B, Nemani R R, Running S W. Estimation of Global Leaf Area Index and Absorbed Par Using Radiative Transfer Models [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1997, 35(66): 1380-1393.
- [11] Knyazikhin Y, Martonchik J V, Diner D J, *et al.* Estimation of Vegetation Leaf Area Index and Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation from Atmosphere Corrected MISR Data [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1998a, 103: 32239-32256.
- [12] Knyazikhin Y, Martonchik J V, Myneni R B, *et al.* Synergistic Algorithm for Estimating Vegetation Canopy Leaf Area Index and Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation from MODIS and MISR Data [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1998b, 103: 32257-32274.
- [13] Myneni R B, Hoffman S, Knyazikhin Y, *et al.* Global Products of Vegetation Leaf Area and Fraction Absorbed PAR from Year One of MODIS Data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 83 (1-2): 214-231.
- [14] Morisette J T, Privette J L, Justice C O. A Framework for the Validation of MODIS Land Products [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 83: 77-90.
- [15] Privette J L, Myneni R B, Knyazikhin Y, *et al.* Early Spatial and Temporal Validation of MODIS LAI Product in the Southern Africa Kalahari [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 83: 232-243.
- [16] Fensholt R, Sandholt I, Rasmussen M S. Evaluation of MODIS LAI, FAPAR and the Relation between FAPAR and NDVI in a Semi-arid Environment Using in Situ Measurements [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 91: 490-507.
- [17] Huemmrich K F, Privette J L, Mukelabai M, *et al.* Time-series Validation of MODIS Land Biophysical Products in a Kalahari Woodland, Africa [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2005, 26(19): 4381-4398.
- [18] Tan B, Hu J N, Zhang P, *et al.* Validation of MODIS LAI Product in Croplands of Alpilles, France [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2005, 110, doi: 10.1029/2004JD004860.
- [19] WWW1: <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>.
- [20] WWW2: <ftp://e4ftl01u.ecs.nasa.gov/MOTA/MCD43A4.005/>.
- [21] Rouse J W, Haas R H, Schell J A, *et al.* Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS [A]. *Proceedings*

of Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium [C]. Greenbelt: NASA SP-351, 1974: 310-317.

[22] Jordan C F. Derivation of Leaf Area Index from Quality of Light on the Forest Floor [J]. Ecology, 1969, 50: 663-666.

[23] Gao B C. NDWI: A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Crop Water From Space [J]. Remote Sensing of Environment, 1996, 58(3): 257-266.

[24] Carter G A. Primary and Secondary Effects of Water Content of the Spectral Reflectance of Leaves [J]. American Journal of Botany, 1991, 78 (7): 916-924.

[25] Zarco-Tejada P J, Rueda C A, Ustin S L. Water Content Estimation in Vegetation with MODIS Reflectance Data and Model Inversion Methods [J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 85: 109-124.

[26] Dai C D, Jiang X G, Tang L L. Process and Analysis of Remote Sensing Image Application [M]. Beijing: Tsing Hua University Press, 2004. [戴昌达, 姜小光, 唐伶俐. 遥感图像应用处理与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.]

[27] Cheng Y F, Gamon J A, Fuentes D A, *et al.* A Multi-scale Analysis of Dynamic Optical Signals in a Southern California Chaparral Ecosystem: A Comparison of Field, AVIRIS and MODIS Data [J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 103: 369-378.

[28] Steinberg D C, Goetz S J, Hyer E. Validation of MODIS FPAR Products in Boreal Forests of Alaska [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006, 44(7): 1818-1828.

[29] Olofsson P, Eklundh L. Estimation of Absorbed PAR Across Scandinavia from Satellite Measurements. Part II: Modeling and Evaluating the Fractional Absorption [J]. Remote Sensing of Environment, 2007, 10: 240-251.

## Comparison of Methods for Estimating Corn Canopy Parameters Based on MODIS Data

YANG Fei<sup>1,2</sup>, ZHANG Bai<sup>1</sup>, WANG Zong-ming<sup>1</sup>, SONG Kai-shan<sup>1</sup>,  
LIU Dian-wei<sup>1</sup>, LIU Huan-jun<sup>1,2</sup>, GUO Zhi-xing<sup>1,2</sup>, JIN Hua-an<sup>1,2</sup>,  
LI Feng-xiu<sup>1,2</sup>, DU Jia<sup>1,2</sup>

(1. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012;  
2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

**Abstract:** Based on the field measured data of corn, this paper established FPAR and LAI estimated models of the vegetation indices (NDVI, RVI, NDWI), which were used to calculate FPAR and LAI with the MODIS BRDF (Bi-directional Reflectance Distribution Function) product of two periods. MODIS 15A2 FPAR/LAI, FPAR/LAI estimated by the vegetation indices models and BRDF data, and field measured FPAR/LAI data were compared. It can be concluded that NDVI, RVI were efficient to estimate FPAR and LAI for measured data and remote sensing data, NDWI was good for measured data but not for remote sensing data for atmospheric effect. The relation between FPAR/LAI estimated by BRDF data and the MODIS product was dependant on the growth periods, the vegetation indices estimated FPAR and LAI were larger than the product in the prophase of corn growing, but had the close value in the anaphase. The MOD15A2 FPAR and LAI are close to the measured data in the prophase, but smaller than the field data in the anaphase. The results showed that MODIS 15A2 FPAR variation was not sensitive enough for the field FPAR changes, which maybe a factor of restricting FPAR product precision.

**Key words:** Corn; FPAR; LAI; MODIS; BRDF