

# 岷江上游典型流域叶面积指数的遥感模型及反演<sup>\*</sup>

何磊<sup>1</sup>, 唐姝娅<sup>2</sup>, 苗放<sup>1</sup>, 李玉霞<sup>3</sup>

(1. 成都理工大学 地球科学学院, 成都 610059; 2. 四川省地震局减灾救助研究所, 成都 610041; 3. 电子科技大学 地表空间信息技术研究所, 成都 610054)

**摘 要:** 叶面积指数是植被定量遥感的重要参数, 区域的时序列叶面积指数揭示了区域生态的演化过程, 反演方法上主要是通过植被指数建立相关模型实现的, 对于不同地区或不同气候带而言, 模型的通用性以及各种植被指数在模型中的灵敏度都需做进一步探讨。以岷江上游典型流域毛儿盖地区为研究区, 综合利用 Aster 和 ETM 遥感数据、地面实测数据和常规观测数据等资料, 研究了植被指数与叶面积指数之间的相关性, 以遥感图像中单个像元作为测算单位, 对岷江上游毛儿盖地区叶面积指数进行了反演。利用研究区实测数据、生态环境本底遥感调查数据和水文气象数据, 对上述模型反演结果进行验证和精度分析。结果表明, 归一化植被指数 NDVI 在反演叶面积指数模型中具有较高的灵敏度, 能较真实地反映研究区叶面积指数实际状况。

**关键词:** 遥感反演; 植被指数; 植被覆盖度; 空间分析

中图分类号: S314; TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)01-0218-04

## Remote Sensing Model and Inversion of Leaf Area Index in the Typical Area of Minjiang Valley Upriver

HE Lei<sup>1</sup>, TANG Shu-ya<sup>2</sup>, MIAO Fang<sup>1</sup>, LI Yu-xia<sup>3</sup>

(1. College of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Institute of Relief Disaster Reduction, Sichuan Earthquake Administration, Chengdu 610041, China; 3. Institute of Geo-Spatial Information Technology, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

**Abstract:** Leaf Area Index (LAI) is the main parameter in quantifying vegetation by means of remote sensing. The temporal variation in LAI is indicative of the evolution process of regional ecology. Vegetation index (VI) has been used widely for modeling vegetation. The applicability of the established models is subject to the local climate in different regions. It is thus necessary to examine how the derived VI reacts to the change in climate. The paper constructs leaf area index models in the typical area of minjiang valley upriver, based on the measuring and exploring in the field and research on the orientation observation, by utilizing the ETM and ASTER remote sensing data, measured data and routine observation data. Studying the relevance between vegetation index and leaf area index, it makes one pixel of the remote sensing images as the calculating unit, and calculates the vegetation index, then inverses leaf area index in the Maoergai region of minjiang valley. Using the measured data in the research area, the remote sensing data in the ecosystem and the hydrometeor data, the paper validates and analyzes precisely the remote sensing inversion result about the model. The results show that the precision of the inversion model is better, which can reflect the true condition of the leaf area index in the research area.

**Key words:** remote sensing inversion; vegetation coverage; vegetation index (VI); spatial analysis

叶面积指数 (LAI) 是指每单位地表面积的叶面面积比例<sup>[1]</sup>。它是陆地生态系统的一个十分重要的

结构参数, 是表征植被冠层结构最基本的参量之一, 它控制着植被的许多生物、物理过程, 如光合、呼吸、

\* 收稿日期: 2009-07-31

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60841006); 四川省青年基金项目 (09ZQ026 - 058)

作者简介: 何磊 (1978 - ), 男, 河南省太康县人, 硕士, 主要从事地图学与地理信息系统。E-mail: helei197811@yahoo.cn

蒸腾、碳循环和降水截获等。LAI 作为计算植物蒸散和干物质累积最重要的参数,且最能反映遥感数据与植物生长状态密切相关关系,因此,研究 LAI 指数动态变化模式具有重要理论和应用价值,而植物群落 LAI 的大小和变化,取决于生态环境、群落结构和利用状况。传统的 LAI 地面测量获得信息有限,而且不能呈面状分布,所以,大区域研究 LAI 仅仅靠地面观测是行不通的,卫星遥感为大区域研究 LAI 提供了唯一的途径<sup>[2]</sup>。本文通过利用多时相多传感器遥感数据和地面实测数据,对岷江上游典型流域毛儿盖地区的叶面积指数进行了遥感模型建立和反演,评价结果表明反演结果能较好地反映研究区植被生长状况。

1 研究区概况

选择岷江上游的毛儿盖地区,其范围是:东经 103°00' - 103°30', 北纬 30°20' - 32°40', 研究区面积约为 1 760 km<sup>2</sup>, 跨松潘县和黑水县的部分区域。区域内水系发育较好,较大的水系有贯穿整个研究区的毛儿盖河、热务沟等,该区域植被与土壤的形成与发育复杂多样,沿高程有明显的垂直地带性。其植被分区上属于泛北极植物区中国喜马拉雅植物亚区横断山脉地区的一部分,植被垂直带分布明显,表现出明显的温性森林、干旱河谷灌丛、亚高山森林、亚

高山草甸、灌丛等生态类型。本研究区包含了岷江上游区域典型的植被、土壤、地貌等特征,故该区域研究成果在岷江上游地区具有一般通用性。

2 遥感数据源

采用的遥感数据源包括 2003 年 7 月 10 日的 Landsat/ ETM 数据和 2003 年 11 月 2 日的 EOS/ ASTER 数据(以下简称 ETM 数据和 ASTER 数据)。

对比分析 ASTER 和 ETM 相关参数特征可以看出:(1) ETM 影像在可见光近红外通道的波段数比 ASTER 多一个蓝光波段,其余三个波段的覆盖范围大致相同,也可以很好地反映植被状况。(2) ASTER 传感器在 SWIR 通道包含的波段数明显比 ETM 要多,这样可以很好地反映表层土壤、植被和岩石等地物的特征。(3) ASTER 传感器在热红外通道有 5 个波段,而 ETM 只有一个波段。ETM 在热红外通道的空间分辨率仅达到 120 m; ASTER 热红外通道的空间分辨率可达 90 m。ASTER 在热红外通道的高光谱分辨率使得它可以反演出较为准确的温度和辐射率。(4) ASTER 的在可见光和近红外通道空间分辨率(15 m)较 ETM(30 m)高。

图 1 分别为岷江上游毛儿盖研究区 ETM(4, 3, 2 合成)和 ASTER(3N, 2, 1 合成)假彩色合成图像。

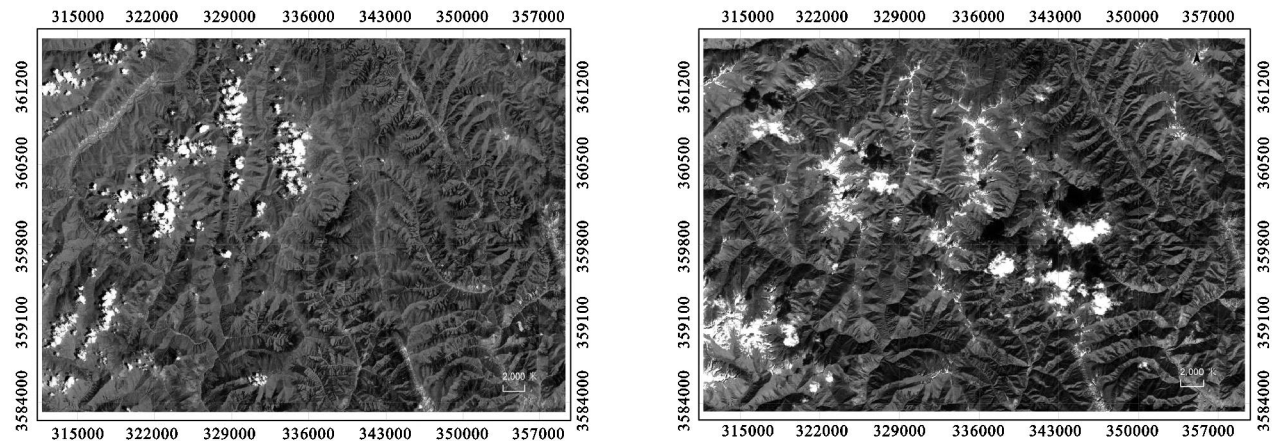


图 1 研究区 ETM(左图)与 ASTER 遥感图像(右图)

3 叶面积指数遥感模型建立与反演

叶面积指数可以从两个途径获取:一是统计模型,用植被指数 NDVI 及其平均叶角等参数进行推算;二是理论模型,用二向反射率分布函数进行反演。前者计算简单,需要平均叶角或叶角分布数据;后者需要利用多角度遥感数据获取较多的参数,计算复杂<sup>[3]</sup>。本文根据研究区的资料和遥感数据特点,利用统计模型求取研究区的叶面积指数。

叶面积指数往往是难以直接从遥感数据获得,但是根据它与遥感参数——植被指数间的密切关系,可以通过大量的理论与实验研究,建立相关的理论和经验统计模型。

Jordan 提出的比值植被指数(RVI)是最早的植被指数: $RVI = R_{Nir} / R_{Red}$ 。其中  $R_{Nir}$  和  $R_{Red}$  分别为近红外波段反射率和红光波段反射率。RVI 对大气影响敏感,而且当植被覆盖不够密度时(小于 50%),它的分辨率也很弱,只有在植被覆盖浓密的

情况下效果最好。对于浓密植物,反射的红光辐射很小, $RVI$  将无限增长。Deering 提出归一化差分植被指数(NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) 将比值限定在  $[-1, 1]$  的范围内:

$$NDVI = \frac{DN_{NIR} - DN_R}{DN_{NIR} + DN_R} \text{ 或 } NDVI = \frac{R_{Nir} - R_{Red}}{R_{Nir} + R_{Red}} \quad (1)$$

式中:  $DN_{NIR}$  ——卫星接收的近红外波段亮度值;  $DN_R$  ——卫星接收的红光波段亮度值;  $R_{Nir}$  ——卫星接收的近红外波段反射率;  $R_{Red}$  ——卫星接收的红光波段反射率。

由于利用了植被冠层对电磁波谱中红色和近红外两个波段反射能量的光谱对比特性,NDVI 提高了对土壤背景的鉴别能力;同时削弱了大部分与仪器定标、太阳角、地形、云/阴影和大气衰减等的影响,增强了对植被的响应能力。张仁华等根据高塔遥感实验场的大量观测资料研究表明,植被指数 NDVI 或  $RVI$  与叶面积指数呈现非线性函数关系。它们之间的关系可表示为

$$NDVI = A[1 - B \exp(-C \cdot LAI)] \quad (2)$$

或表示为

$$LAI = \frac{\ln[1 - NDVI/A]/B}{C} \quad (3)$$

式中:  $A$ 、 $B$ 、 $C$  ——经验系数,  $A$ 、 $B$  通常接近于 1。其中,  $A$  是由植物本身的光谱反射确定,  $B$  与叶倾角、观测角有关,  $C$  取决于叶子对辐射的衰减,这种衰减呈非线性的指数函数变化。

根据式(1),综合考虑了研究区数据资料及其特征,结合相关研究资料,本研究由以下关系式获得  $LAI$ :

$$NDVI = 0.95 - 0.89 \exp(-LAI) \quad (4)$$

由式(3)可以推导出  $LAI$  的函数关系式:

$$LAI = \ln[(0.95 - NDVI)/0.89] \quad (5)$$

对 LANDSAT ETM 而言,归一化差分植被指数 NDVI 式(1)中 和 分别是 ETM 波段 3(630 - 690

nm)和波段 4(760 ~ 900 nm)的反射率。对 Aster 传感器而言,标准化差值植被指数 NDVI 式(1)中  $R_{nir}$  和  $R_{red}$  分别是 Aster 波段 2(630 ~ 690 nm)和波段 3N(760 ~ 860 nm)的反射率。

图 2 为该研究区 ETM 图像的叶面积指数反演结果图,可以看到研究区的  $LAI$  值基本分布在 2 ~ 4 之间。经 ARCGIS 软件统计分析,岷江上游毛儿盖地区的  $LAI$  值在 0 ~ 2 之间的占 10.13%,在 2 ~ 4.5 之间的占 78.86%,大于 4.5 或者 0 的占 11.01%,其中  $LAI$  最大值为 4.814,平均值为 2.941。结合研究区植被分类图,经统计分析表明:亚高山草甸的  $LAI$  平均为 2.617,灌丛的  $LAI$  平均为 3.032,针阔混交林的  $LAI$  平均为 3.783<sup>[4]</sup>。

图 2 为该研究区 ASTER 图像的叶面积指数反演结果图。可以看到研究区的  $LAI$  值基本分布在 0.48 ~ 1.37。经 ARCGIS 软件统计分析,岷江上游毛儿盖地区的  $LAI$  值在 0 ~ 0.5 之间的占 21.51%,在 0.5 ~ 2.5 之间的占 73.41%,大于 2.5 或者小于 0 占 5.08%,其中  $LAI$  最大值为 4.231,平均值为 0.926。结合研究区植被分类图,经统计分析表明:亚高山草甸的  $LAI$  平均为 0.525,灌丛的  $LAI$  平均为 0.683,针阔混交林的  $LAI$  平均为 2.316。

对比图 2 和图 3 可以看出,由 ASTER 数据反演的叶面积指数整体上比 ETM 数据反演的叶面积指数统计分析值要小;这与遥感图像的时相有关<sup>[5]</sup>, ETM 数据采集时间为 7 月中旬,该时间是植被生长旺盛阶段,植被叶片生长旺盛故而叶面积指数相应较大;ASTER 数据获取时间为 11 月,该时间已是冬初,研究区已有部分的雪覆盖,落叶林植被的叶片已经凋落,草甸也已枯萎,植被进入了冬歇阶段,故叶面积指数明显较小。岷江上游毛儿盖地区植被叶面积指数随海拔梯度的增加  $LAI$  减小,这与植被垂直分布性有关<sup>[6]</sup>。由两个图像反演的叶面积指数,较好地反映了植被类型及其空间分布变化的趋势。

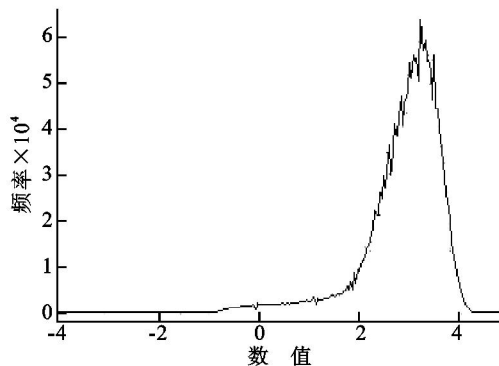
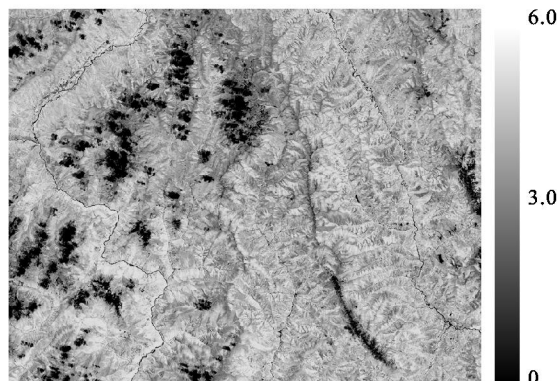


图 2 ETM 图像叶面积指数反演结果与分布曲线图

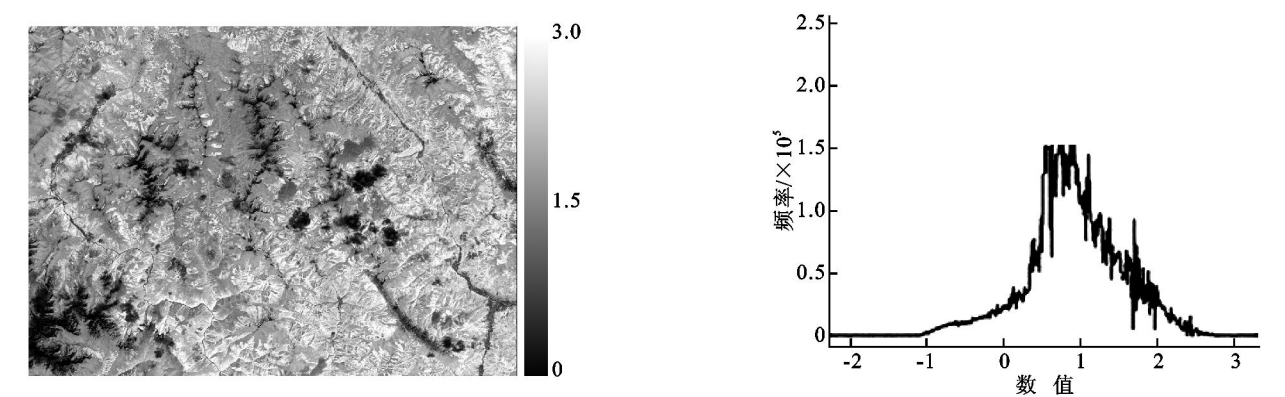


图3 ASTER 图像叶面积指数反演结果与分布曲线图

4 结论

根据对岷江上游研究区的实地踏勘和定位观测研究,综合利用 Aster 和 ETM 遥感数据、地面实测数据和常规观测数据等,分析了叶面积指数的遥感反演方法及其影响因子,并提出了用遥感方法反演叶面积指数的最佳模型和最佳植被指数。通过模型反演可以得出,基于 2003 年 7 月的 ETM 数据反演出叶面积指数,其值在 2~4.5 之间的占 78.86%;按照植被分类统计,亚高山草甸的 LAI 平均为 2.617,灌丛的 LAI 平均为 3.032,针阔混交林的 LAI 平均为 3.783。2003 年 11 月的 ASTER 数据反演结果在 0.5~2.5 之间的占 73.41%;按照植被分类统计,亚高山草甸的 LAI 平均为 0.525,灌丛的 LAI 平均为 0.683,针阔混交林的 LAI 平均为 2.316。反演结果表明,叶面积指数受时相和植被空间分布影响较大,但是,不同植被类型影响程度不同,针叶林受影响相对较小,灌木林受影响较大,叶面积指数

与植被类型的空间垂直分布性有关。通过对研究区进行实测叶面积指数作为模型验证数据,将能更好地提高模型精度。

参考文献:

[1] 惠凤鸣,田庆久,金震宇,等. 植被指数与叶面积指数关系研究及量化分析[J]. 遥感信息,2003,45(2):10-13.  
[2] 李开丽,蒋建军,茅荣正,等. 植被叶面积指数遥感监测模型[J]. 生态学报,2005,25(6):1491-1496.  
[3] 方秀琴,张万昌. 叶面积指数 LAI 的遥感定量方法综述[J]. 国土资源遥感,2003,57(3):58-62.  
[4] 李玉霞. 岷江上游毛儿盖地区生态水信息指标参数遥感量化研究[D]. 成都:成都理工大学,2007.  
[5] 顾祝军,曾志远. 遥感植被盖度研究[J]. 水土保持研究,2005,12(4):18-21.  
[6] Qi J, Kerr Y H, Moran M S, et al. Leaf Area Index Estimates Using Remotely Sensed Data and BRDF Models in a Semiarid Region[J]. Remote Sensing of Environment,2000,73:18-30.

(上接第 217 页)

参考文献:

[1] 蔡银莺,张安录. 深圳经济增长与耕地资源流失:耕地资源流失库兹涅茨曲线假说及检验[J]. 统计与决策,2006,13(3):34-37.  
[2] 胡建民,石亿邵. 略论耕地库兹涅茨曲线在我国的适用性[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(4):589-592.  
[3] 刘丽军,宋敏,屈宝香. 中国耕地非农化的区域差异及其收敛性[J]. 资源科学,2009,31(1):116-122.  
[4] 李永乐,吴群. 经济增长与耕地非农化的 Kuznets 曲线

验证:来自中国省际面板数据的证据[J]. 资源科学,2008,30(5):667-672.  
[5] 朱红波,张安录. 我国耕地资源数量安全的时空差异分析[J]. 中国人口·资源与环境,2006,16(6):113-117.  
[6] 李海鹏,叶慧,张俊飏. 中国收入差距与耕地非农化关系的实证研究:基于对耕地库兹涅茨曲线的扩展[J]. 中国土地科学,2006,20(5):7-12.  
[7] 曲福田,吴丽梅. 经济增长与耕地非农化的库兹涅茨曲线假说及验证[J]. 资源科学,2004,26(9):61-66.  
[8] 钱忠好. 中国农地保护:理论与政策分析[J]. 管理世界,2003(10):60-70.