

引用格式:Luo Shezhou, Cheng Feng, Wang Fangjian, *et al.* Leaf Area Index Inversion based on TM in Linzhi, Tibet[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2012, 27(5): 740-745. [骆社周, 程峰, 王方建, 等. 基于 TM 遥感数据的西藏林芝地区叶面积指数反演[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(5): 740-745.]

基于 TM 遥感数据的西藏林芝地区叶面积指数反演

骆社周^{1,2}, 程 峰¹, 王方建¹, 习晓环¹, 王 成¹

(1. 中国科学院对地观测与数字地球科学中心, 北京 100094;

2. 北京城市学院, 北京 100083;)

摘要:叶面积指数(LAI)是分析冠层结构最常用的参数之一,它控制着植被的生物、物理过程,如光合、呼吸、蒸腾、碳循环和降水截获等。但是通过野外实测获取大面积的 LAI 比较困难,通过对西藏林芝地区的 TM 遥感数据进行处理获取各种植被指数,然后分别与实测 LAI 建立相应的回归关系,并对不同的回归模型进行分析找出相关性较好、误差较低的回归模型,最后利用该模型对林芝地区的叶面积指数进行制图。通过植被指数与实测 LAI 进行回归分析建立 LAI 估算模型,其决定系数最高为 $R^2=0.653$,具有较好的相关性。研究结果表明:TM 遥感数据可以实现林芝区域 LAI 估算,能为生态环境研究提供数据支持。

关 键 词:叶面积指数;森林;植被指数;西藏;遥感;TM

中图分类号:TP 79 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2012)05-0740-06

1 引 言

叶面积指数(Leaf Area Index, LAI)的提出源于作物学,英国农业生态学家 Watson 于 1947 年首先定义了叶面积指数,即单位土地面积上单面植物光合作用面积的总和^[1]。LAI 是陆面过程中的一个十分重要的结构参数,是表征植被冠层结构的最基本参量之一,它控制着植被的生物物理过程,如光合、呼吸、蒸腾、碳循环和降水截获等^[2]。由于理解和使用上的差异,叶面积指数有不同的定义和解释,如植物叶片总面积与土地面积的比值,单位面积上植物叶片的垂直投影面积总和等^[3]。Chen 等^[4]将 LAI 定义为单位地面面积上所有叶片表面积的一半。叶面积指数是一个无量纲度量的参数,其大小与植被种类、生长期、叶片倾角、叶簇和非叶生物量等因素有关,还受叶面积指数定义和测定方法的影响。叶面积指数作为进行植物群体和群落生长分析的重要参数,已在农业、果树业、林业、生物学及生态学等领域得到广泛应用^[5]。

直接测量 LAI 是经典、成熟、相对精度较高的方法,也是间接测定的重要校正方法。其缺点是对植物本身具有一定破坏性,必须人工采集叶子样品,耗时耗力,劳动强度比较大,而且采样不一定具有代表性,仅在有限的小范围内适用,而大面积实测 LAI 还没有得到很好的解决,可作为间接方法的有效验证^[3,6-8]。

间接方法是用一些测量参数或用光学仪器得到叶面积指数,测量方便快捷,如 SunScan、LiCor LAI-2000、DEMON 和 TRAC^[9],但仍需要用直接方法所得结果进行校正^[10]。随着对 LAI 空间模式兴趣的增长及科学研究的需要,实地测量 LAI 不仅需要高昂的费用和大量的时间,而且在偏远地区一般是行不通的,而用遥感数据估算 LAI 成为最有吸引力的方法^[9-10],并且卫星遥感数据为大区域研究 LAI 提供了最有效途径^[2,9]。目前国内外开展了诸多遥感估算 LAI 的例子。徐全芝等^[12]利用 TM 数据对黑河流域进行叶面积指数制图,蒙继华等^[13]利用大尺度的遥感模型估算全国作物 LAI 分布,并应

用于“中国农情遥感速报”系统;林文鹏等^[14]通过 SPOT 卫星数据对城市森林叶面积指数进行反演,并证明其可行性;Gong 等^[15]利用高光谱数据进行 LAI 估算,并确定了高光谱数据估算 LAI 的最优波段;Aboelghar 等^[16]用遥感数据反演出 LAI 与植被指数的关系模型,并成功用于 Sakha 农业实验区 LAI 制图。Richardson 等^[17-18]利用多角度遥感数据反演 LAI,并通过实测数据验证了其可靠性。近年来,随着激光雷达遥感技术的兴起和广泛应用,很多研究者已经开始利用机载激光雷达数据提取叶面积指数。

植被指数是从遥感角度解释地表植被覆盖状况最有价值的参数,最常用的植被指数有归一化植被指数(NDVI)、比值植被指数等。本研究将利用 TM 遥感数据求出各种植被指数,然后分别建立实测 LAI 数据与各植被指数之间的回归模型,对模型进行验证并确定最优模型,最后应用该最优模型进行西藏林芝地区的叶面积指数制图。

2 研究区与数据

2.1 研究区概况

西藏位于中国的西南部,林芝地区地处西藏东南雅鲁藏布江下游,地理位置为 93°28′~95°14′E, 29°22′~30°13′N,平均海拔 3 100 m 左右,气候温暖湿润,年降雨量 650 mm 左右,年均温度 8.7℃,年平均日照为 2 022.2 h,无霜期为 180 d。林芝的森林面积约为 264 万 hm²,森林覆盖率为 46.9%,木材蓄积量为 8.82 亿 m³,为中国第三大林区,西藏森林的 80% 都集中在这里,不仅面积大、分布广,而且树种齐全,从亚热带到寒带植物都有生长,素有“绿色宝库”之称,主要树种有柏树、桑树、云杉、冷杉、高

山松等。本研究区域主要树种是高山松。

2.2 研究数据

2.2.1 TM 遥感数据的获取与处理

本研究选取 2008 年 10 月份 TM 影像的 4 个波段,分别为蓝光波段、绿光波段、红光波段、近红外波段,其分辨率为 30 m。先将研究中选择 4 个波段组合成一个多波段图像文件,以便后续的处理,再对图像进行几何精校正,由于纠正后的 TM 影像与 DGPS 测量时的投影不一致,因此,最后需要把纠正后的图像投影变换成 DGPS 实测时的投影。

2.2.2 LAI 数据获取及处理

于 2011 年 7 月 20~25 日对林芝林区采样点的叶面积指数与地理坐标进行地面实测。叶面积指数采用植物冠层分析系统 SunScan 进行测量。SunScan 在冠层不高、均一的植被测量中精度较高,测量点的天顶角尽量保证在 60°以内,所以一般选择在中午进行测量。另外,LAI-2000 冠层分析仪是地面测量 LAI 的最常用仪器,也是公认测量森林叶面积指数精度较高的仪器。为了验证 SunScan 在测量森林 LAI 的可靠性,本研究利用 LAI-2000 对 SunScan 测量结果进行了验证。在晴天条件下,分别选取了 20 个阔叶林与 21 个针叶林样点,用 LAI-2000 与 SunScan 两种仪器同时测量,然后对两种仪器测量结果的相关性进行了分析。阔叶林与针叶林线性相关的决定系数 R^2 分别为 0.8389 与 0.8384,并且阔叶林的非线性相关决定 R^2 达到了 0.9399,从图 1 可以看出拟合度很好,因此用 SunScan 对西藏林芝林区进行 LAI 地面实测是完全可行的,Couturier 等^[19]2005 年曾用 SunScan 对橡树、松树与冷杉等进行叶面积地面测量,并成功应用于森林分类。

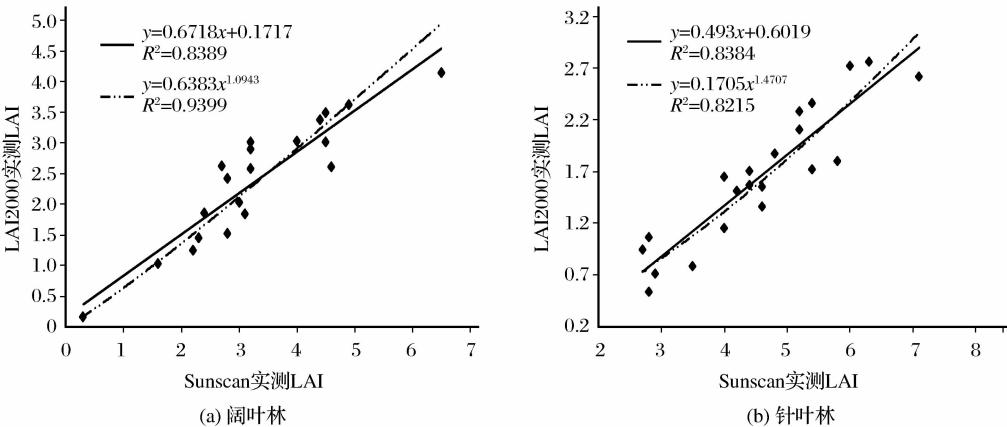


图 1 SunScan 与 LAI2000 实测叶面积关系图

Fig. 1 Relationships between SunScan and LAI2000 measured LAI

SunScan 不需要等待特殊的天气条件进行使用,可以在大多数光照条件下进行测量工作。手持终端 PDA 操作简单,其存储空间较大,能满足野外大数据测量的需要。由于日照传感器采用了无线发射接收技术,使测量更加方便快捷,并且能快速获取较大面积林区 LAI 的平均值。无线发射距离最大 250 m,在植被中可传输 100~200 m,在很大程度上提高了在复杂地区森林 LAI 的测量效率。考虑到西藏林芝地区地形复杂、天气变化多端,所以该研究区域的实测 LAI 主要是通过 SunScan 仪器获取的。

由于本研究使用的 TM 影像分辨率为 30 m,因此实地 LAI 测量中,在每个直径为 30 m 的样区内用 SunScan 多次测量求平均值,样区的中心坐标采用 DGPS 进行定位,精度在 1 m 以内。本次试验共选取了 129 个样区。

3 研究方法

本研究对实测 LAI 与多种植被指数做线性与非线性回归分析,然后对它们的结果进行对比分析,找出适合估算该区域叶面积指数的最优植被指数与最佳回归模型,并用该模型对林芝地区进行 LAI 制图。

3.1 常用的植被指数

植被指数(Vegetation Index, VI)是两个或多个波长范围内的地物反射率进行线性或非线性组合运

算,产生某些对植被长势、生物量等有一定指示意义的专题数值,常用的植被指数如表 1 所示。

表 1 各类植被指数及公式^[20-24]
Table 1 Vegetation indices and formulas

植被指数	公式
NDVI	$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$
SRVI	$SRVI = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{RED}}$
ARVI	$ARVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RB}}{\rho_{NIR} + \rho_{RB}} \quad \rho_{RB} = \rho_{RED} - \gamma(\rho_{BLUE} - \rho_{RED})$
SAVI	$SAVI = (1 + L) \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED} + L}$
EVI	$EVI = G \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + C_1 \rho_{RED} - C_2 \rho_{BLUE} + L}$

3.2 植被指数计算及其与 LAI 的回归分析

对处理后的 TM 影像,利用 ENVI 遥感图像处理软件,根据表 1 给出的各类植被指数公式算出相应的植被指数。该研究从 129 个样区中随机选取了 89 个,其余 40 个作为回归模型的验证数据。然后根据实测 LAI 样本的中心坐标提取对应位置的 5 种植被指数值,把 89 个实测 LAI 与植被指数绘制成散点图,观察它们呈线性和幂函数关系,所以对提取出来的 5 种植被指数与实测 LAI 用最小二乘法进行线性与非线性回归分析,结果如图 2 所示,y 为 LAI,x 为 VI。由于 EVI 都是负值,无法进行幂函

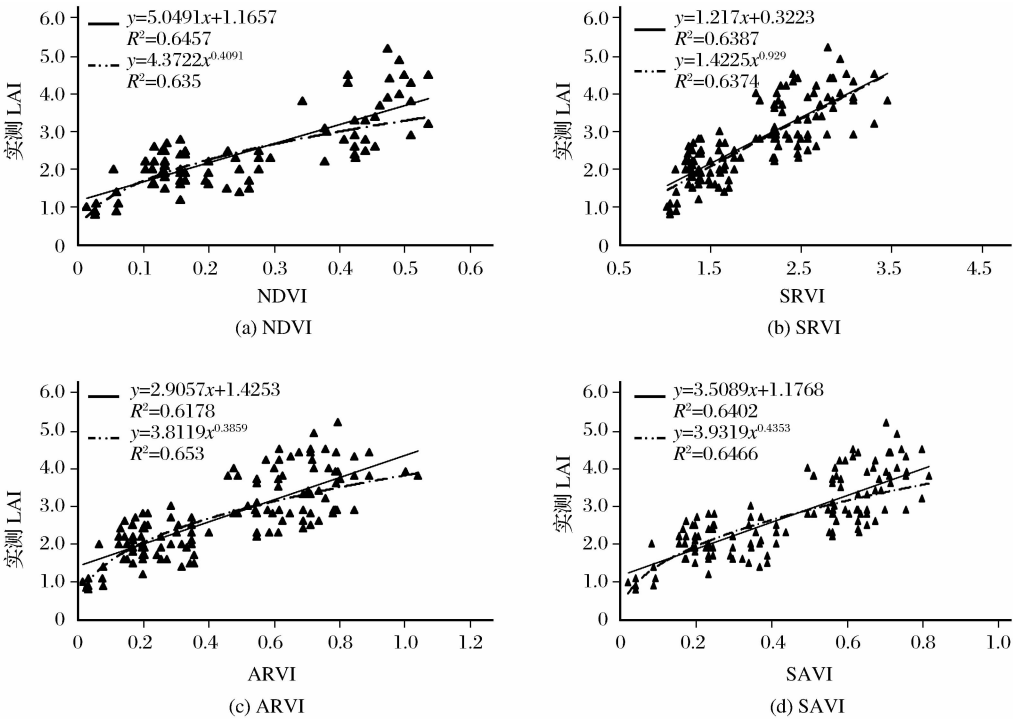


图 2 LAI 与 NDVI、SRVI、ARVI、SAVI 的关系
Fig. 2 Relationships between LAI and NDVI, SRVI, ARVI, SAVI

数曲线模型的回归分析, 所以在此没有绘出 EVI 与 LAI 的回归关系图。

4 精度检验及模型应用

由图 2 可以看出 VI 与 LAI 的回归关系中, 回归模型 R^2 都大于 0.6, 都有较好的相关性。本研究随机选取 89 个实测数据作为回归模型的训练样本, 用剩余的 40 个实测数据作为验证数据, 其验证结果见表 2。可以看出误差较小的是 LAI-SAVI 的线性回归模型, 其误差平均值是 0.512, $RMSE=0.578$, $R^2=0.640$, $P=0$, 该反演模型能够反映该地区的森林 LAI 分布情况, 所以用 LAI-SAVI 线性模型反演林芝地区的叶面积指数要比 EVI、SRVI、ARVI、NDVI 更好一些。LAI-SAVI 线性模型预测 LAI 值与实测 LAI 值关系如图 3 所示, $R^2=0.601$, $P=0$, $RMSE=0.560$, 误差平均值为 0.314。

对预处理后的 TM 影像提取大气阻抗植被指数 (SAVI), 然后用 LAI-SAVI 线性模型进行林芝地区的叶面积指数提取和制图, 其结果如图 4 所示, 可以看出林芝地区的叶面积指数分布范围主要在 1~7 之间。

表 2 预测误差均值及均方根误差

Table 2 Mean error and root mean square error of the estimated LAIs

线性模型	LAI-NDVI	LAI-SRVI	LAI-ARVI	LAI-SAVI
误差均值	0.515	0.517	0.530	0.512
均方根误差	0.600	0.595	0.699	0.578
幂函数模型	LAI-NDVI	LAI-SRVI	LAI-ARVI	LAI-SAVI
误差均值	0.559	0.524	0.521	0.538
均方根误差	0.667	0.615	0.607	0.623

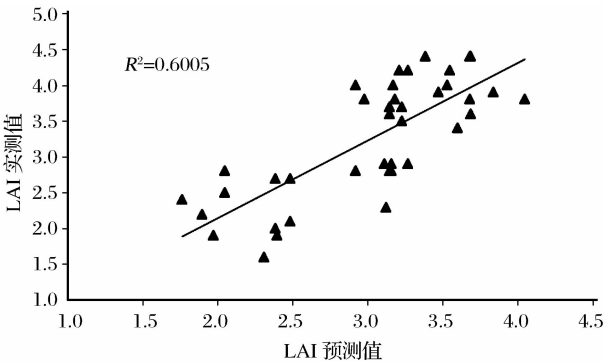


图 3 LAI 预测与实测值关系图

Fig. 3 Relationships between Estimated and Field-measured LAI

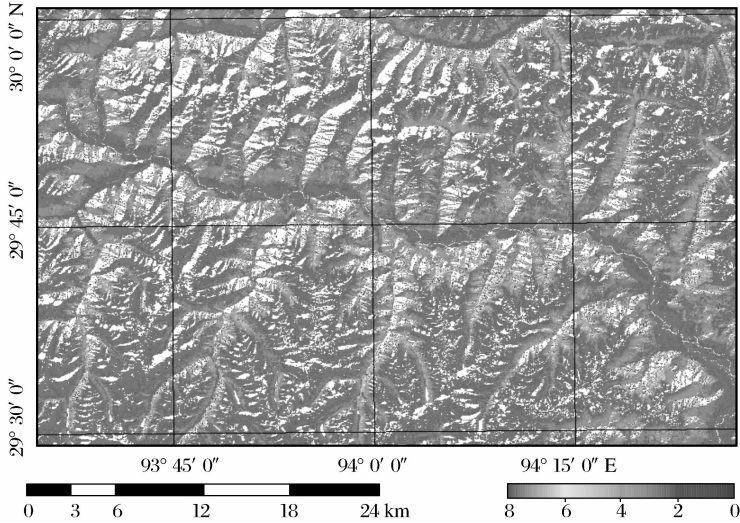


图 4 基于 TM 数据的西藏林芝地区 LAI 制图

g. 4 Mapping of leaf area index based on TM satellite image in Linzhi, Tibet

5 结 语

本研究首先用 LAI-2000 冠层分析仪对 SunScan 测量结果进行了验证, 证明了 SunScan 测量森林叶面积指数的可靠性, 并选用 SunScan 对 129 个样区的 LAI 进行实地测量。其次, 用 TM 遥感数据计算出各类植被指数, 并与实测 LAI 建立相应的回

归关系, 然后找出与 LAI 相关性最好的植被指数, 即大气阻抗植被指数 (ARVI)。最后, 利用 ARVI 与 LAI 之间的回归模型对林芝地区进行叶面积指数制图, 实现了间接、快速、非破坏性的大区域 LAI 制图, 为相关科学研究提供可靠的数据。

用 TM 遥感数据成功反演叶面积指数有 3 点需要特别注意: ① 地面测量方法必须正确。因为

TM 影像的分辨率是 30 m,在这 30 m 范围内可能会有大的孔隙度,而用 TM 数据反演时是整个像元的平均值,所以在地面测量 LAI 时要选择代表性的位置进行测量,不能只在有树木的位置进行测量,比如可以沿着两条相互垂直 30 m 的线路进行测量,求 LAI 的平均值作为这个样区的最终 LAI;② GPS 定位精度要高,至少误差不能大于所用遥感影像分辨率的一半,否则 LAI 的反演精度就会非常低,有时甚至是错误的结果;③ 遥感影像几何校正的精度至少要小于一个像元,并且要保证影像的坐标系与 GPS 的一致,这样通过实测 LAI 中心位置坐标提取遥感影像的反射率才是正确的。

参考文献(References):

- [1] BreÅda N J. Ground-based Measurements of Leaf Area Index; A Review of Methods, Instruments and Current Controversies[J]. Journal of Experimental Botany, 2003, 54(392): 2403-2417.
- [2] Chen J M, Cihlar J. Retrieving Leaf Area Index of Boreal Conifer Forests Using Landsat TM Images[J]. Remote Sensing of Environment, 1996, 55(2): 153-162.
- [3] Tan Yibo, Zhao Zhonghui. The Main Methods for Determining Leaf Area Index[J]. Forest Inventory and Planning, 2008, 33(3): 45-48. [谭一波, 赵仲辉. 叶面积指数的主要测定方法[J]. 林业调查规划, 2008, 33(3): 45-48.]
- [4] Chen J M, Pavlic G, Brown L, et al. Derivation and Validation of Canada Wide Coarse Resolution Leaf Area Index Maps Using High Resolution Satellite Imagery and Ground Measurements[J]. Remote Sensing of Environment, 2001, 80(1): 165-184.
- [5] Wang Xiqun, Ma Lvyi, Jia Zhongkui, et al. Research and Application Advances in Leaf Area Index (LAI) [J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(5): 537-541. [王希群, 马履一, 贾忠奎, 等. 叶面积指数的研究和应用进展[J]. 生态杂志, 2005, 24(5): 537-541.]
- [6] Zhou Yuyu, Tang Shihao, Zhu Qijiang, et al. Measurement of LAI in Changbai Mountains Nature Reserve and Its Result [J]. Resources Science, 2003, 25(6): 38-42. [周宇宇, 唐世浩, 朱启疆, 等. 长白山自然保护区叶面积指数测量及结果[J]. 资源科学, 2003, 25(6): 38-42.]
- [7] Cheng Wuxue, Pan Kaizhi, Yang Cunjian. Research Progress in the Determination Methods of Leaf Area Index (LAI) [J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 2010, 31(3): 51-54. [程武学, 潘开志, 杨存建. 叶面积指数(LAI)测定方法研究进展[J]. 四川林业科技, 2010, 31(3): 51-54.]
- [8] Cutini A, Matteucci G, Mugnozsa G S. Estimation of Leaf Area Index with the Li-Cor LAI 2000 in Deciduous Forests[J]. Forest Ecology and Management, 1998, 105(1-3): 55-65.
- [9] Wang Q, Adiku S, Tenhunen J, et al. On the Relationship of NDVI with Leaf Area Index in a Deciduous Forest Site[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 94(2): 244-255.
- [10] Tang Xuguang, Liu Dianwei, Song Kaishan, et al. A Study for Estimating the Main Tree Species Leaf Area Index in North-east based on Hyperspectral Data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2010, 25(3): 334-341. [汤旭光, 刘殿伟, 宋开山, 等. 东北主要绿化树种叶面积指数(LAI)高光谱估算模型研究[J]. 遥感技术与应用, 2010, 25(3): 334-341.]
- [11] Chang Xuexiang, Zhao Wenzhi, Zhao Aifen. Variation of Leaf Area Index of Gansu Poplar and Its Relation to Water Consumption during Growing Season in the Middle Reaches of Heihe River [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2006, 28(1): 85-90. [常学向, 赵文智, 赵爱芬. 黑河中游二白杨叶面积指数动态变化及其与耗水量的关系[J]. 冰川冻土, 2006, 28(1): 85-90.]
- [12] Xu Quanzhi, Zhang Wanchang, Liu Sanchao, et al. Retrieval of Leaf Area Index for the Heihe River Watershed by Using Remote Sensing Data[J]. Arid Zone Research, 2003, 20(4): 281-285. [徐全芝, 张万昌, 刘三超, 等. 黑河流域叶面积指数的遥感反演[J]. 干旱区研究, 2003, 20(4): 281-285.]
- [13] Meng Jihua, Wu Bingfang, Li Qianqzi. Method for Estimating Crop Leaf Area Index of China Using Remote Sensing[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(2): 161-167. [蒙继华, 吴炳方, 李强子. 全国农作物叶面积指数遥感估算方法[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 161-167.]
- [14] Lin Wenpeng, Zhaomin, Zhang Yifei, et al. Study on Estimation of Urban Forest LAI Models based on SPOT5 [J]. Science of Surveying and Mapping, 2008, 33(2): 57-60. [林文鹏, 赵敏, 张翼飞, 等. 基于 SPOT5 遥感影像的城市森林叶面积指数反演[J]. 测绘科学, 2008, 33(2): 57-60.]
- [15] Gong P, Pu R L, Greg S. Biging, et al. Estimation of Forest Leaf Area Index Using Vegetation Indices Derived from Hyperion Hyperspectral Data[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(6): 1355-1361.
- [16] Aboelghar M, Arafat S, Saleh A, et al. Retrieving Leaf Area Index from SPOT4 Satellite Data[J]. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 2010, 13(2): 121-127.
- [17] Richardson J J, Moskal L M, Kim S, et al. Modeling Approaches to Estimate Effective Leaf Area Index from Aerial Discrete-return LiDAR [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2009, 149(6-7): 1152-1160.
- [18] Kwak D A, Lee W K, Kafatos M, et al. Estimation of Effective Plant Area Index for South Korean Forests Using LiDAR System [J]. Science China Life Sciences, 2010, 53(7): 898-908.
- [19] Couturier S, Gastellu J, Patiño P, et al. A Model-Based Performance Test for Forest Classifiers on Remote Sensing Imagery[J]. Forest Ecology and Management, 2009, 257(1): 23-37.
- [20] Rouse J W, Haas R H. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plain with ERTS[C]//Third ERTS Symposium, Washington, DC, 1973, 1: 309-317.

[21]

Jordan C F. Derivation of Leaf Area Index from Quality of Light on the Forest Floor[J]. Ecology, 1969, 50(4): 663-666.

[22]

Kaufman Y J, Tanré D. Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1992, 30(2): 261-270.

[23]

Huete A R. A Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)[J]. Remote Sensing of Environment, 1988, 25(3): 295-309.

[24]

Huete A R, Justice C, Liu H. Development of Vegetation and Soil Indices for MODIS-EOS[J]. Remote Sensing of Environment, 1994, 49(3): 224-234.

Leaf Area Index Inversion based on TM in Linzhi, Tibet

Luo Shezhou^{1,2}, Cheng Feng¹, Wang Fangjian¹, Xi Xiaohuan¹, Wang Cheng¹
(1. Center for Earth Observation and Digital Earth Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;
2. Beijing City University, Beijing 100083, China)

Abstract: Leaf Area Index (LAI) is one of the most important parameters, which controls biological and physical processes associated with vegetation on the Earth's surface, such as photosynthesis, respiration, transpiration carbon and nutrient cycle, and rainfall interception. However, field measurement of LAI is very difficult for a large area. Five Vegetation Indexes (VIs) of Linzhi in Tibet are estimated from satellite TM image respectively. Then the five VIs are regressed against field-measured LAI using the linear and nonlinear regression models. The regression model with lowest error was found from the five VIs, and has a significant correlation ($R^2=0.653$). Finally, the determined model was used to map LAI of Linzhi in Tibet. This study demonstrated the remotely sensed TM image can be used in large-scaled LAI estimation and can provide data for ecological research.

Key words: LAI; Forest; Vegetation Index; Tibet; Remote Sensing; TM