

植被叶面积指数遥感监测模型

李开丽, 蒋建军, 茅荣正, 倪绍祥

(南京师范大学地理科学学院, 南京 210097)

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的探讨。以江苏省宜兴市作为研究区, 采用 2002 年 8 月 22 日获得的 Landsat-5 TM 图像数据和 2003 年 8 月 23~26 日采用 LAI-2000 进行的野外实测植被叶面积指数(LAI)数据, 分别探讨了植被指数(VI)与 LAI 的一元、多元线性回归模型和非线性回归模型, 其中的非线性回归模型包括对数、指数、乘幂和多项式回归模型。结果表明, VI 与 LAI 之间的最佳回归模型为多元线性回归模型, R^2 达 0.864; 采用逐步选择剔除法, 遴选出了用于回归模型的植被指数为: RVI 、 PVI 、 $SAVI_{L=0.35}$ 、 $MSAVI$ 、 $ARVI_{\gamma=1}$ 、 $ARVI_{\gamma=0.5}$ 和 $SARVI$ 。经模型 $LAI = -\ln((VI-VI_{\infty})/(VI_g-VI_{\infty}))/K_{VI}$ 检验, 预测值(y)与实测值(x)的拟合度较好 $y = 0.5345x + 1.3304$, R^2 为 0.7379。 RVI 与 LAI 的三次多项式回归模型也较好, R^2 为 0.7806。再次为 RVI 与 LAI 的一元线性回归模型, R^2 为 0.7726, 比值植被指数 RVI 在反演叶面积指数模型中具有较高的灵敏度。

关键词: 遥感; 植被指数; 叶面积指数; 监测; 模型

文章编号: 1000-0933(2005)06-1491-05 中图分类号: Q945, Q948, TP79 文献标识码: A

The modeling of vegetation through leaf area index by means of remote sensing

LI Kai-Li, JIANG Jian-Jun, MAO Rong-Zheng, NI Shao-Xiang (College of Geographical Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1491~1496.

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. This study focuses on Yixing City of Jiangsu Province using Landsat Thematic Mapper data received on August 22, 2002. Vegetation LAI data were measured in the field from August 23 to August 26 of 2003. Univariate and multivariate linear and non-linear models was established for LAI from various vegetation indices through regression analysis. The nonlinear regression models include logarithmic, exponential, power and polynomial regression ones. In a stepwise backward regression analysis it was found that RVI , PVI , $SAVI_{L=0.35}$, $MSAVI$, $ARVI_{\gamma=1}$, $ARVI_{\gamma=0.5}$ and $SARVI$ were significant to the modeling of LAI. The obtained results show that the best multivariate linear regression model takes the form of $LAI = 1.493 \times RVI - 0.864 \times PVI - 1.964 \times SAVI_{L=0.35} - 7.378 \times MSAVI + 4.145 \times ARVI_{\gamma=1} + 34.396 \times ARVI_{\gamma=0.5} - 20.966 \times SARVI - 1.430$ (R^2 is 0.864). LAI values predicted from this regression model (y) matches closely those measured from the model $LAI = -\ln((VI-VI_{\infty})/(VI_g-VI_{\infty}))/K_{VI}(x)$. These two sets of results have the following regression relationship: $y = 0.5345x + 1.3304$ ($R^2 = 0.7379$). The cubic polynomial regression models LAI from RVI performs quite well. Another cubic polynomial regression model between RVI and LAI is also rather accurate with the R^2 value being 0.7806. The next most accurate model is a liner one with R^2 value being 0.7726. In these regression models RVI is highly sensitive to changes in LAI.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40371081); 江苏省教育厅自然科学基金资助项目(00KJB170003)

收稿日期: 2004-04-09; 修订日期: 2004-11-07

作者简介: 李开丽(1977~), 女, 山东临沂人, 硕士生, 主要从事遥感与 GIS 应用研究。E-mail: lklcelery@163.com

Foundation item: National Natural Science Foundation of China(No. 40371081) and Natural Science Research Program of Jiangsu Educational Office (No. 00KJB170003)

Received date: 2004-04-09; **Accepted date:** 2004-11-07

Biography: LI Kai-Li, Master candidate, mainly engaged in application of RS and GIS. E-mail: lklcelery@163.com

Key words: remote sensing; vegetation index; Leaf Area Index; modeling, monitoring

绿色植被的叶面积指数(*LAI*)是定量分析地球生态系统能量交换特性的一个重要结构变量,不仅可用于农作物产量预估和病虫害评价,而且是描述林冠特性,确定森林 CO_2 、水和氧气交换率的重要变量^[1]。*LAI* 可定义为单位面积上所有叶子表面积的总和,或单位面积上所有叶子向下投影的面积总和。本文涉及的 *LAI* 采用后面这个定义。

测量 *LAI* 的方法目前有直接测量和间接测量两种方法。直接测量法有量测法、重量比例法^[2]、分层收割法和斜点样方法^[3]。间接测量法是利用各种测量仪器进行测量,这类仪器如 *LAI*-2000^[4]、*MVI*^[5]、*TRAC* 和 *Demon*^[6]。另外一种间接测量 *LAI* 的方法是基于遥感技术。由于遥感数据具有覆盖面积大、更新周期短、花费相对少等优点,所以目前研究 *LAI* 的时空分布大多是基于遥感数据^[7]。1999 年美国发射的环境遥感卫星 Terra(*EOS-AM1*)所携带的中分辨率成像光谱仪(*MODIS*),其主要用途之一就是获取和监测包括 *LAI* 在内的地表覆盖特性。目前,*SAR*^[7]、*IKONOS*^[8],特别是多光谱遥感数据^[9]和高光谱数据^[10,11]都已用于反演 *LAI*。

LAI 的遥感反演方法大致可分为两类^[1,12]。第 1 类方法着眼于光谱绝对值或其变换形式,如波段反射率和由其计算得到的光谱植被指数(*VI*),然后建立 *LAI-VI* 之间的回归模型,方法简单灵活,应用广泛,但对不同的数据需要重新拟合参数和不断调整模型。第 2 类方法是建立在生物学、物理学基础上的概念光学模型,并从中反演有关生物物理、化学参数。这类方法具有较强的物理基础,但要求输入较多难以获得的参数,因而限制了这类方法的应用。

从遥感数据中,特别是多光谱数据和高光谱数据提取 *LAI* 是可行的。由于受大气、土壤背景、仪器定标及植被本身光化学过程变化等内外因素的影响,各种 *VI* 和 *LAI* 的关系具有地域性和时效性。简单实用的 *LAI* 的反演方法以及反演精度的提高已成为研究热点和难点。宜兴地区的自然环境较为复杂,山地、丘陵和平原并存,所以地表覆盖植被也呈现出多样性。本文试图利用从 *Landsat TM* 图像中计算得到的 *VI* 与在野外实测的 *LAI* 值,建立反演 *LAI* 回归统计模型,探讨在此自然环境下,这种模型方法的可行性、最优的模型形式,主要目的在于改善 *LAI* 的提取效率与精度。

1 研究区与数据来源

1.1 研究区

宜兴位于北纬 $31^{\circ}07' \sim 31^{\circ}37'$,东经 $119^{\circ}31' \sim 120^{\circ}03'$ 。地势南高北低,南部为丘陵山区,占总面积的 40%,茗岭山主峰黄塔顶海拔 611.5m,为全区最高峰。北部为平原低洼圩区。全区气候属北亚热带季风区,四季分明,温和湿润,雨量充沛。

全区可分为太 平原区、低洼圩区、太湖滨区、宜南丘陵区 and 南山林特区。太 平原区和低洼圩区以粮食为主,稻麦两熟。太湖滨区以经济作物为主。宜南丘陵区农粮林并举,林地面积占全区林地的 40.82%,林木覆盖率 50.4%,其中,以杉木、毛竹为主的用材林占 58.51%,以茶树为主的经济林占 18.65%,以板栗为主的木本粮油林 1.8%,薪炭林占 21.04%。南山林特区以林为主,农林结合,林木覆盖率达 89.5%,经济作物有板栗、毛竹、茶林等。

1.2 数据来源

本研究所用数据主要包括遥感图像数据和野外实测数据两部分。其中,遥感图像数据为 *Landsat-5 TM*,轨道号 119/38,2002 年 8 月 22 日获取,做了几何精校正和大气校正;野外实测 *LAI* 数据用美国 *LI-COR* 公司的 *LAI-2000* 叶面积测量仪获得,测定时间为 2003 年 8 月 23~26 日,与 *TM* 数据获取时间基本同步。尽量选择植被覆盖较均一的地点作为样点,共 23 个样点。测量对象包括青梅、板栗、水稻、竹林、茶园及针叶林(经济作物园)。样点间距大于 30m(考虑 *TM* 的像元大小)。在每个样点随机测 6 个点,然后从仪器读出 *LAI* 平均值,同时用 *GARMIN 12XLC* 手持 *GPS* 接收仪测定每个点的地理坐标,定位误差在 5m 以内。为提高精度,同一样点测 2~3 次,取平均值作为最终结果。

2 遥感植被指数与 *LAI* 值的相关分析

2.1 植被指数

考虑到大气和背景土壤对反演 *LAI* 的影响,本研究选取了比值植被指数(*RVI*)、归一化植被指数(*NDVI*)、垂直植被指数(*PVI*)、土壤调节植被指数(*SAVI*)、修正土壤调节植被指数(*MSAVI*)、大气阻抗植被指数(*ARVI*)及综合土壤大气调节植被指数(*SARVI*)。其中,*SAVI* 中的土壤影响因子 *L* 取值 0.5;*ARVI* 中的光路辐射订正系数取值为 1 与 0.5;*SARVI* 中的 *L* 取 0.5,光路辐射订正系数取 1。以上植被指数的相应计算公式如下:

$$NDVI = (NIR - R)/(NIR + R)$$

$$RVI = NIR/R$$

$$PVI = \sqrt{(0.355NIR - 0.149R)^2 + (0.355R - 0.852NIR)^2}$$

$$SAVI = (1 + L)(NIR - R)/(NIR + R + L)$$

$$ARVI = (\rho_{NIR} - \rho_{RB})/(\rho_{NIR} + \rho_{RB}) \text{ 其中, } \rho_{RB} = \rho_R - \gamma(\rho_B - \rho_R)$$

$$SARVI = (\rho_{NIR} - \rho_{RB})(1 + L)/(\rho_{NIR} + \rho_{RB} + L)$$
$$MSAVI = \frac{2NIR + 1 - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - Red)}}{2}$$

式中, NIR,ρ_{NIR} 为近红外波段, R,ρ_R 为红色波段, ρ_B 为蓝色波段。

2.2 植被指数与 LAI 的相关分析

利用 PCI9.0 遥感软件,完成了各样点的植被指数提取。植被指数与 LAI 相关分析的结果见表 1。由表 1 可见,除 PVI 外,其他植被指数与 LAI 都有很高相关性。因此可以认为,基于植被指数来建立研究区 LAI 的遥感监测模型是基本可行的。

3 LAI 监测模型的建立

3.1 一元线性回归模型

回归方程为:

$$y = ax + b$$

式中, y 代表 LAI, x 代表植被指数。表 2 分别列出了所建立的不同植被指数与 LAI 的一元线性拟合模型。

由表 2 可见,RVI 的拟合程度最好,NDVI 次之,这与大多数人所取得的结果一致。SAVI 系列中, $L=0.1$ 时, $R=0.8661,R^2=0.7501$,表现最好,并且仅次于 RVI,略低于 NDVI。 $L=0.35$ 时与 LAI 的线性相关性表现最差,而当时植被盖度又较高,这可能和 TM 图像进行了大气校正有关。已有研究表明:土壤背景与大气对于遥感图像影响有交互作用,去除其中一个因素可能会增加另外一个因素的影响,但是总体来看削弱了部分因素影响强度。SARVI 的表现也大体与此相似。PVI 与 LAI 的线性回归分析的相关系数和确定系数都很低。

表 2 植被指数与 LAI 的一元线性回归模型

Table 2 The univariate linear regression models between VI and LAI					
植被指数 Vegetation Index	回归方程 The monadic linear regression models	R	R ²	F	Sig.
RVI	$Y=1.093X-1.097$	0.8790	0.7726	31.366	0.000
NDVI	$Y=12.274X-3.917$	0.8661	0.7502	63.068	0.000
PVI	$Y=5.167X-0.907$	0.5558	0.3089	9.386	0.006
SAVI(L=0.1)	$Y=11.164X-3.915$	0.8661	0.7501	63.022	0.000
SAVI(L=0.25)	$Y=9.831X-3.911$	0.8659	0.7499	62.951	0.000
SAVI(L=0.35)	$Y=9.338X-4.032$	0.8573	0.7350	58.251	0.000
SAVI(L=0.5)	$Y=8.203X-3.905$	0.8657	0.7495	62.832	0.000
MSAVI	$Y=14.634X-7.486$	0.8559	0.7326	57.520	0.000
ARVI($\gamma=1$)	$Y=8.515X+0.418$	0.8569	0.7344	58.080	0.000
ARVI($\gamma=0.5$)	$Y=9.922X-1.215$	0.8657	0.7494	62.809	0.000
SARVI(L=0.5, $\gamma=1$)	$Y=5.729X-0.371$	0.8381	0.7025	49.586	0.000

* 显著水平 Significant($p\leqslant0.05$)

3.2 多元线性回归模型

多元线性方程为:

$$y = a_0x_0 + a_1x_1 + \cdots + a_nx_n + a_{n1}$$

式中, y 代表 LAI, $x_0,x_1,\cdots,x_n$ 分别代表不同的 VI, $a_0,a_1,\cdots,a_n$ 为拟合系数。将不同的 VI 与 LAI 代入上式,采用向后逐步选择剔除法得到以下回归方程:

$$LAI = 1.493 \times RVI - 0.864 \times PVI - 1.964 \times SAVI_{L=0.35} - 7.378 \times MSAVI + 4.145 \times ARVI_{\gamma=1} +$$
$$34.396 \times ARVI_{\gamma=0.5} - 20.966 \times SARVI - 1.430$$

结果显示,多元线性回归模型比一元线性回归模型和非线性回归模型表现都好,其 $R=0.930,R^2=0.864,F$ 统计量=13.641, $Sig.F=0.000$ 。

3.3 一元非线性回归模型

VI-LAI 的一元非线性回归模型采用了对数模型、指数模型、乘幂模型和三次多项式模型。结果表明,以下三次多项式模型

表 1 植被指数与 LAI 的相关系数

Table 1 The correlation coefficient between vegetation indices and LAI

植被指数 Vegetation Index	相关系数 Correlation coefficient	显著性 Sig.
PVI	0.879*	0.000
NDVI	0.866*	0.000
PVI	0.556*	0.000
SAVI(L=0.5)	0.866*	0.000
MSAVI	0.856*	0.000
ARVI($\gamma=1$)	0.857*	0.000
ARVI($\gamma=0.5$)	0.866*	0.000
SARVI(L=0.5, $\gamma=1$)	0.838*	0.000

* 显著水平 Significant($p\leqslant0.01$)

是最适合研究区使用的非线性模型：

$$y=a^*x^3+b^*x^2+c^*x+d$$

式中,y 为 LAI,x 代表 VI, a, b ,c 与 d 为拟合系数。表 3 列出了 VI 与 LAI 之间的三次多项式拟合模型。

表 3 植被指数与 LAI 的一元三次多项式回归模型

Table 3 The cubic equation regression models of between VI and LAI					
植被指数 Vegetation Index	一元三次多项式回归方程 The cubic equation regression models	R	R ²	F	Sig.
RVI	$Y=-0.171x^3+1.958x^2-6.096x+7.382$	0.8835	0.7806	34.13	0.000
NDVI	$Y=14.544x^3+1.935x^2-3.877x+1.798$	0.8798	0.7741	34.27	0.000
PVI	$Y=-100.350x^3+237.570x^2-178.240x+45.197$	0.6397	0.4092	5.44	0.013
SAVI(L=0.1)	$Y=11.292x^3+0.952x^2-3.121x+1.716$	0.8797	0.7739	34.24	0.000
SAVI(L=0.25)	$Y=7.926x^3+0.296x^2-2.437x+1.645$	0.8788	0.7723	34.18	0.000
SAVI(L=0.35)	$Y=7.926x^3+0.296x^2-2.437x+1.645$	0.8796	0.7737	30.00	0.000
SAVI(L=0.5)	$Y=4.805x^3-0.292x^2-1.614x+1.530$	0.8793	0.7732	34.10	0.000
MSAVI	$Y=166.300x^3-303.130x^2+192.070x-40.399$	0.8798	0.7740	34.06	0.000
ARVI(γ=1)	$Y=-27.565x^3+34.259x^2-4.1294x+1.756$	0.8623	0.7435	18.36	0.000
ARVI(γ=0.5)	$Y=-76.365x^3+112.87x^2-43.179x+6.682$	0.8783	0.7714	33.29	0.000
SARVI(L=0.5, γ=1)	$Y=-5.576x^3+12.294x^2-1.831x+1.667$	0.8456	0.7150	15.89	0.000

* 显著水平 Significant($p\leqslant0.01$)

3.4 精度验证

为估计 LAI 和 APAR(吸收性光辐射)在检验 VI 后,Baret & Gauryot 建立了一个作为 LAI 函数的 VI 变化模型,其表达式为：

$$VI=VI_{\infty}+(VI_g-VI_{\infty})\cdot\exp(-K_{VI}\cdot LAI)^{[1]},$$

变换后为

$$LAI=-\ln\left(\frac{VI-VI_{\infty}}{VI_g-VI_{\infty}}\right)/K_{VI}$$

式中,VI_g 相应于裸土的 VI,VI_∞是 VI 的渐进无穷值,K_{VI}是一个消光系数。本研究采用 $LAI=-\ln\left(\frac{VI-VI_{\infty}}{VI_g-VI_{\infty}}\right)/K_{VI}$ 模型得到的一组 LAI 值视为实测值来检验多元线性回归模型的精度。VI 被指定采用 NDVI,VI_∞采用出现的最大 NDVI 值,而 VI_g 为研究区裸土的均值。研究结果表明,由多元线性回归模型所得预测值(y)与实测值(x)的拟合度较好,y=0.5345x+1.3304, R² 为 0.7379。各实测点的预测值与实测值的误差情况如图 1 所示。

最后,根据多元线性回归模型可以得出研究区叶面积指数的监测结果见图版 I。

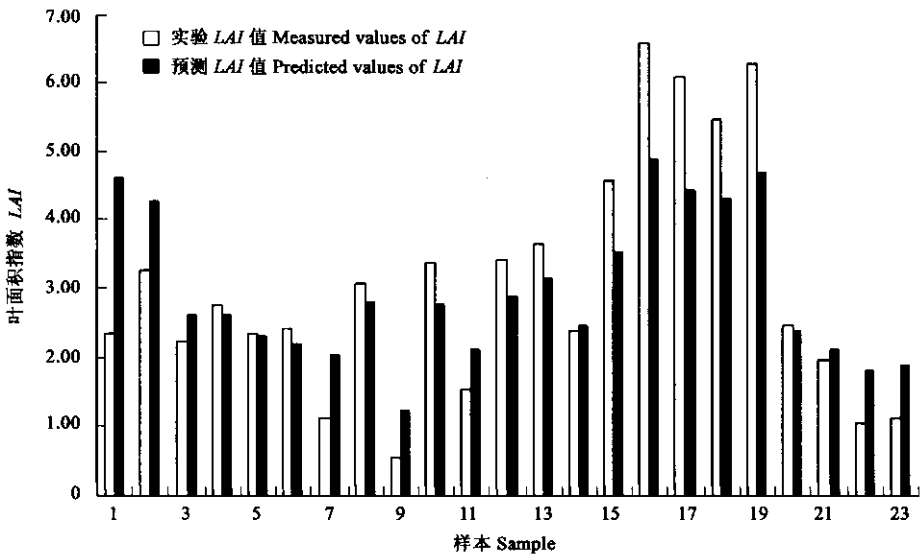


图 1 叶面积指数的实测值与预测值

Fig. 1 Measured values and predicted values of LAI

4 结论

4.1 由研究区 TM 图像数据提取的植被指数(VI)与植被叶面积指数(LAI)之间的相关分析表明,除 PVI 外,其余几种 VI 与 LAI 之间有很好的相关性,两者的相关系数 RVI 最大(0.879),SARVI(L=0.5,γ=1)最小(0.838),所得到的回归模型的拟合程度也很好。因此可以认为,基于 VI 来建立研究区 LAI 的遥感监测模型是基本可行的。

4.2 分别建立了不同形式 VI 与研究区 LAI 的一组一元线性回归模型和多元线性回归模型以及一组非线性回归模型。对这些模型的分析比较发现:

(1)VI-LAI 之间最佳的回归模型为多元线性回归模型,其相关系数达 0.930,确定系数达 0.864。同时,利用向后逐步选择剔除法选出了用于回归模型的植被指数:RVI、PVI、 $SAVI_{L=0.35}$ 、 $MSAVI$ 、 $ARVI_{\gamma=1}$ 、 $ARVI_{\gamma=0.5}$ 和 SARVI。经模型 $LAI = -\ln\left(\frac{VI - VI_{\infty}}{VI_g - VI_{\infty}}\right) / K_{VI}$ 检验,预测值(y)与实测值(x)的拟合度较好, $y=0.5345x+1.3304$, R^2 为 0.7379。RVI-LAI 的三次多项式回归模型也较好,其相关系数与确定系数分别为 0.8835 和 0.7806。再次为 RVI-LAI 的一元线性回归模型,其相关系数与确定系数分别为 0.8790 和 0.7726。

(2)RVI-LAI 关系在多个回归模型中表现都非常好,并且在一元线性回归模型、对数回归模型、乘幂回归模型和三次多项式回归模型中其 R 与 R^2 值都为最高,所以 RVI 较其它 VI 更适合作为模拟 LAI 的一元回归模型。

(3)虽然三次多项式和多元线性回归模型比一元线性回归模型更好的拟合了 LAI 与 VI 的关系,从而能够提高 LAI 的反演精度,但是这两种模型都削弱的 LAI-VI 关系的直观性,掩盖了二者间的生物物理机理。

(4)PVI 与 LAI 的相关性很差,所以 PVI 对于反演 LAI 的一元回归模型并不适合。在反演 LAI 的多元线性回归模型中,PVI 被选取作为多元中的一元,但这是统计方法在为取得最佳模型时的选择方法,并不证明 PVI 与 LAI 相关性如何。

(5)由于受 LAI 实测样本数量和研究区环境的限制,适合任何地区的模型并不存在,本文提出的 LAI-VI 反演模型在外推到其他地区时,模型的参数需要依据研究区具体的 LAI 实测样本和研究区环境进行拟合得到。

References:

[1] Pu R L, Gong Peng, *Hyper Spectral Remote Sensing and its Applications*. Beijing: Higher Education Press, 2000. 127~131.

[2] Duan A W. Measuring leaf area index of crop colony. *Irrigation and Drainage*,1996,**15**(1):50~53.

[3] Ren H, Peng S L. Comparison of methods for estimating leaf area index in Dinghushan forests. *Acta Ecologica Sinica*, 1997,**17**(2):220~223.

[4] Villalobos F J, Orgaz F and Mateos L. Non-destructive measured of leaf area in olive trees using a gap inversion method. *Agriculture and Forest Meteorology*, 1995,**73**: 29~42.

[5] Kucharik C J, Norman J M and Gower S T. Measurements of branch area and adjusting leaf area index indirect measurements. *Agriculture and Forest Meteorology*, 1998,**91**: 69~88.

[6] Gower S T, Kucharik C J and Norman J M. Direct and indirect estimation of leaf area index, fAPAR and Net Production of Terrestrial Ecosystem. *Remote Sensing of Environment*,1999,**70**: 29~51.

[7] Paloscia S. An Empirical approach for retrieving leaf area index from multifrequency SAR data. *Geoscience and Remote Sensing Symposium. IGARSS '95. 'Quantitative Remote Sensing for Science and Applications'*, International, V. 2,1995. 967~969.

[8] Colombo R, Bellingeri D, Fasolini D,*et al.* Retrieval of leaf area index in different vegetation types using high resolution satellite data. *Remote Sensing of Environment*,2003, **86**: 120~131.

[9] Myneni R B, Nemani R R and Running S W. Estimation of global leaf area index and absorbed par using radiative transfer models. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 1997,**35**: 1380~1393.

[10] Peng G, Ruiliang Pu, Biging G S,*et al.* Estimation of forest leaf area index using vegetation indices derived from hyperspectral data. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*,2003, **41**: 1355~1362.

[11] Liu W D, Xiang Y Q, Zheng L F. Relationships between rice LAI, CH. D and hyper-spectra data. *Journal of Remote Sensing*,2000, **4** (4):279~283.

[12] Fang H L, Liang S L and Kuns A. Retrieving leaf area index using a genetic algorithm with a canopy radiative transfer model. *Remote Sensing of Environment*,2003, **85**: 257~270.

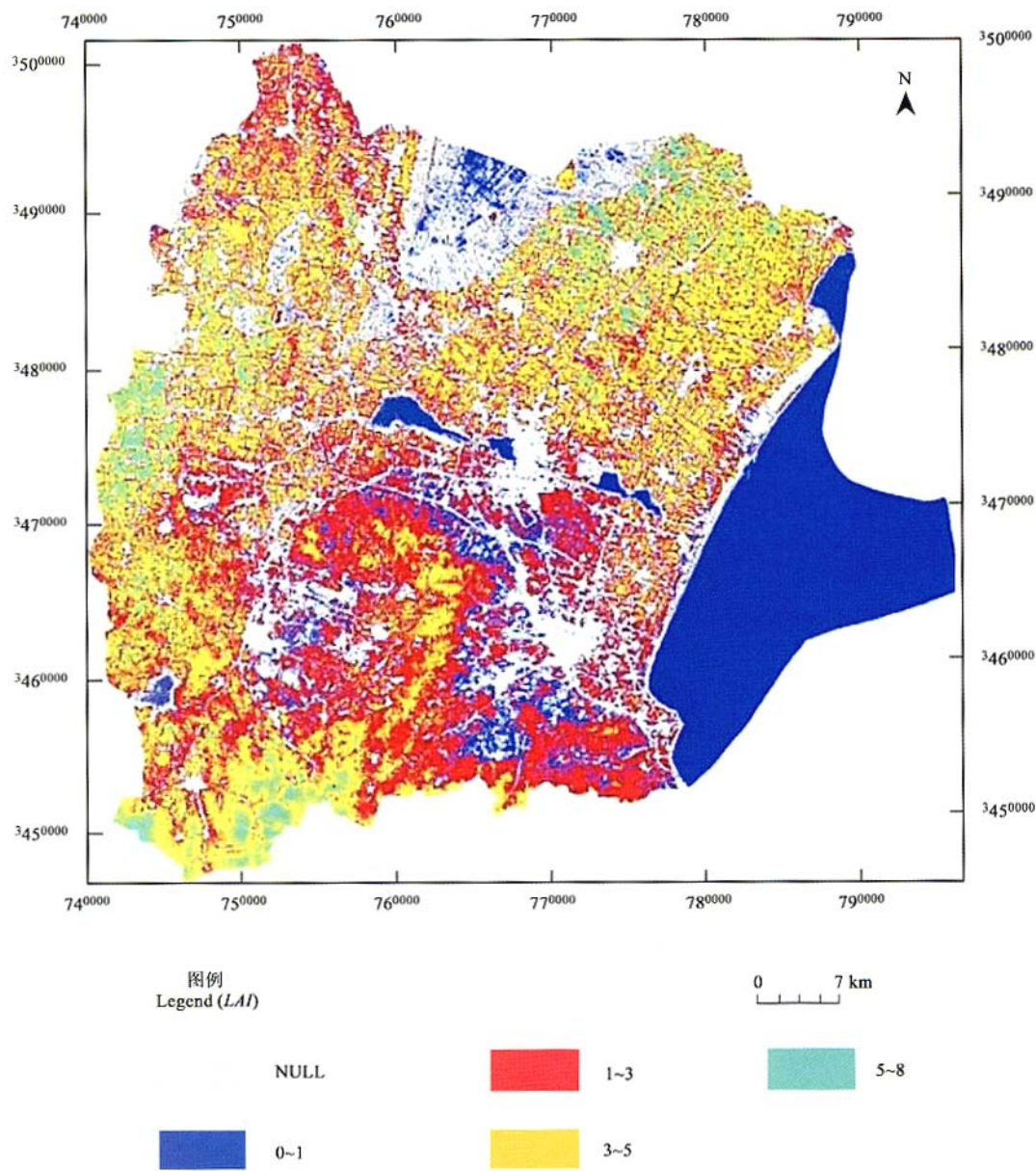
参考文献:

[1] 浦瑞良,宫鹏. 高光谱遥感及其应用. 北京:高等教育出版社, 2000. 127~131.

[2] 段爱旺. 作物群体叶面积指数的测定. 灌溉排水, 1996,**15**(1):50~53.

[3] 任海,彭少麟. 鼎湖山森林群落的几种叶面积指数测定方法的比较. 生态学报, 1997,**17**(2):220~223.

[11] 刘伟东,项月琴,郑兰芬. 高光谱数据与水稻叶面积指数及叶绿素密度的相关分析. 遥感学报,2000,**4**(4):279~283.



图版 I 宜兴地区植被 *LAI* 遥感监测结果图
Plate I The *LAI* image of the study area