

基于遥感与地理信息系统支持下的 地表植被特征参数反演*

张时煌 彭公炳 黄 玫

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要 利用 Sellers 等对于不同植被类型在观测的基础上已经建立起来的光合作用有效辐射吸收系数 (FPAR) 或叶面积指数 (LAI) 与归一化标准植被指数 (NDVI) 的函数关系, 以国家卫星气象中心接收到的美国卫星 NOAA-16 的范围为 (5~65°N, 60~150°E)、分辨率为 1 km 的 NDVI 资料为原始资料, 根据 2000 年 10 月 15 日至 2001 年 10 月 15 日期间 MODIS 卫星遥感数据反演得到的 IGBP 分类系统 1 km 分辨率的土地覆被类型资料为辅助资料, 对反演这一研究范围内的地表植被特征参数 FPAR 和 LAI 进行了有益的尝试, 得到了比较好的结果, 并成功地运用于集成沙尘天气数值预报系统中。

关键词: 叶面积指数; 地表植被特征参数; 土地覆被; 遥感; 地理信息系统

文章编号 1006-9585 (2004) 01-0080-12 **中图分类号** P407 **文献标识码** A

1 引言

FPAR (Fraction of Photosynthetic Active Radiation) —— 光合作用有效辐射吸收系数是计算光合作用的一个关键变量, 也是计算地表 (尤其是植被) 与大气低边界层之间能量与水分交换的一个关键变量; 而且它也是能够直接用来计算 LAI (叶面积指数)、Roughness Length (Z_0 : 粗糙度)、Green Fraction of Total Leaves (Greenness: 绿度) 和 Albedo (反照率) 的重要变量。FPAR 是指到达作物冠层上方的入射光合作用有效辐射 (PAR)。其一部分被作物冠层反射, 一部分被作物吸收, 还有一部分透射过冠层到达地表, 并被地表吸收和反射, 只有被作物冠层吸收的 PAR 才对作物的干物质积累有贡献。因此, FPAR 就是作物冠层对接收的所有 PAR 的吸收比例。

LAI (Leaf Area Index) — 叶面积指数是指单位面积上的树叶面积总和的一半。由于 LAI 能够对植物冠层结构给出直接的量化指标, 因此, 它与多种林冠过程, 如光线反射与折射、蒸腾作用、光合作用、呼吸作用以及树叶脱落过程等密切相关, LAI 是冠层结构特征的一种表征, 是不考虑冠层详细结构如叶倾角分布、冠层高度或形状的一种无量纲变量。因此, LAI 的定义被用于多种全球模式从而得以量化上述生态系统特征。随着遥感成为生态学研究的一种重要工具, 人们越来越重视通过卫星遥感来测量或估算 LAI。

目前, 通过卫星遥感资料来估算大范围 FPAR 和 LAI 的方法还都不是很成熟, 但

2004-01-08 收到, 2004-02-10 收到修改稿

* 国家财政部“西北地区土壤水分、沙尘暴监测预测研究”项目 (Y0101) 资助

却是有益的尝试。总体来说,共有两种途径或方法来估算 FPAR 和 LAI^[1,2],一种是经验的方法,又称植被指数(VI)方法,主要是通过与光谱植被指数(SVI),如归一化标准植被指数 NDVI,以函数的形式建立某种经验关系来估算;另一种方法是通过模式计算的方法来估算,通过建立辐射传输方程或模式反过来推算它的其中一个输入变量 LAI。这两种方法各有优缺点,第 1 种方法的优点是简单而易于计算,缺点是 LAI-SVI 函数关系或方程随着植被类型不同而改变,对于具体的植被类型我们需要有先验的知识来确定函数关系及其系数;第 2 种方法的优点是基于物理过程且不随植被类型而改变,然而,它却需要大量的计算时间,模式或方程的逆向推算并不总是收敛的。在文中,我们将尝试采用第 1 种方法来进行 FPAR 和 LAI 的估算,主要是考虑到 Sellers 等^[3,4]对于不同植被类型在观测的基础上已经建立了 FPAR 或 LAI 与 NDVI 比较确定的函数关系。

2 资料介绍

本文中所用到的原始资料共有 2 种,第 1 种是由国家卫星气象中心提供的 NOAA-16 分辨率为 1 km 的旬 NDVI 资料,包括 2002 年 2 月上、中和下旬;3 月中、下旬;4 月上、中和下旬;5 月上、下旬;6 月上、中和下旬;7 月上旬以及 8 月上、中和下旬。资料格式为分层数据格式(Hierarchical Data Format),简称 HDF 格式,投影方式为 Lambert 等积圆锥投影。

第 2 种是由 Boston 大学遥感中心陆地研究小组,根据 2000 年 10 月 15 日至 2001 年 10 月 15 日期间中等解析度成像分光辐射计(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer,简称 MODIS)卫星遥感数据,反演得到以国际地圈生物圈计划(IGBP)分类系统分类,分辨率为 1 km 的全球土地覆被类型资料^[5~7](这里截取(5~65°N, 60~150°E)范围作为研究区域)。资料格式为 HDF 格式,投影方式为经纬度坐标系统(图 1)。

3 NDVI 遥感资料的前期处理与奇异点剔除

3.1 判断 NDVI 遥感影像资料是否可用

首先,针对每一旬的 NDVI 遥感影像资料,逐幅进行检查,判断其是否可用。对于影像资料存在接收质量问题而不能用的,将其剔除出去,如图 2a(为便于比较,在这里也将其转换为经纬度坐标系统)。然后对保留的可用资料进行投影转换,转换为经纬度坐标系统(如图 2b),并在 ArcGIS 软件系统中将数据文件格式转换为 Arc/Info 的栅格文件格式,即 Grid 文件格式。

3.2 消除云、雾、水汽等对 NDVI 的影响

对每个月上、中、下 3 旬的 NDVI 数据求其最大值作为这个月的 NDVI 数据,对绝大部分地区都能消除云、雾、水汽等对 NDVI 数值的影响。

3.3 奇异点的剔除

对于 NDVI 的奇异数据,我们采取以下办法将其剔除。先分别求出 5×5 像素范围

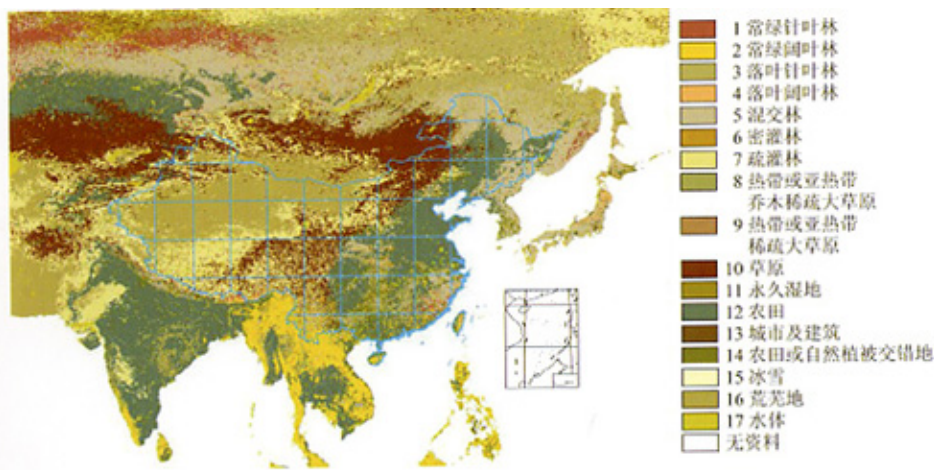


图 1 研究区内分辨率为 1 km 的全球土地覆被类型资料 (IGBP 分类)
经纬度坐标系统

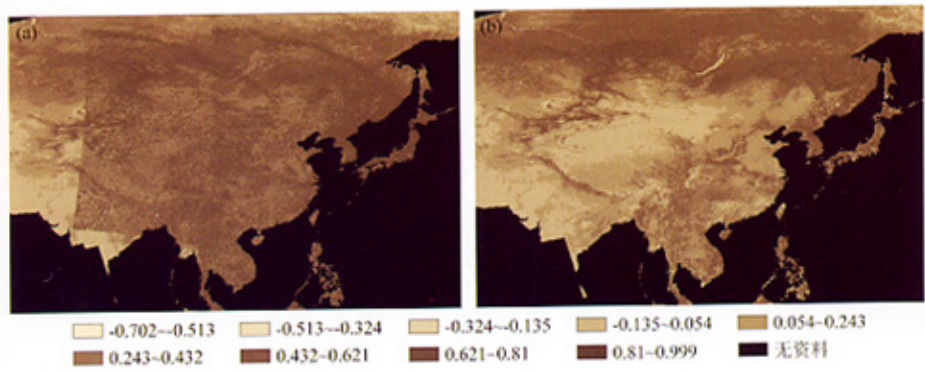


图 2 2002 年 6 月上旬 (a) 和中旬 (b) 的 NDVI 影像图
经纬度坐标系统

内的 NDVI 最大值和最小值, 如果这一范围内的最大值与最小值之差大于或等于 0.5, 我们就认为这一范围内的 NDVI 数据存在奇异点, 然后求出这一范围内不同像元相同数值最多的 NDVI 数值, 并用这一数值代替这一奇异点的数值。如图 3, 我们将用 0.1 代替 0.6。图 4 很好地反映了某一图块去除奇异数据之前和之后的 NDVI 遥感数据。

4 FPAR——光合有效辐射吸收系数的反演

从 NDVI 计算光合作用有效辐射吸收系数——FPAR (F_{PAR}) 时, Sellers^[3]的理论研究中发现对于在深色土壤背景的植被冠层, 其 FPAR 与 NDVI (I_{NDV}) 的简单比率 $SR(S_R)$ 之间存在着近乎线性的关系, Hall 等^[8]在草地上也证实了这种理论。其计算公式为

0.0	0.3	0.1	0.2	0.2
0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
0.2	0.1	0.6	0.2	0.1
0.1	0.1	0.1	0.2	0.3
0.1	0.1	0.2	0.1	0.1

图 3 5×5 像元范围内 NDVI 数值的奇异点

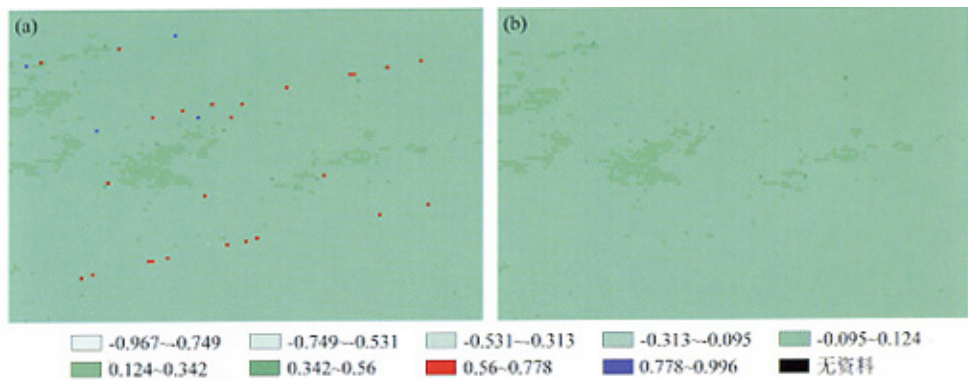


图 4 NDVI 遥感数据中奇异点剔除前 (a) 和剔除后 (b) 的遥感影像
经纬度坐标系统

$$F_{PAR} = (0.95 - 0.001)(S_R - S_{R02}) / (S_{R98} - S_{R02}) + 0.001,$$

(1)

其中

$$0.001 \leq F_{PAR} \leq 0.950,$$

$$S_R = (1 + I_{NDV}) / (1 - I_{NDV}),$$

$$S_{R98} = 98\% S_R, \quad S_{R02} = 2\% S_R,$$

式中， S_{R98} 为对太阳正射下的一种特殊的土地覆被， S_{R02} 为对太阳直射下的沙漠或荒地。 S_{R98} 和 S_{R02} 的数值通过表 1 中的 I_{NDV98} 和 I_{NDV02} 来计算， I_{NDV98} 和 I_{NDV02} 分别对应植被覆盖为 98% 和 2% 时的 NDVI。表中“ I_V ”是指某一种植被类型， I_{max} 是指某种植被或土地覆被达到最大值时的 LAI， S_i 是一个独立于生物或植被类型的变量。

针对公式 (1) 的计算，Sellers^[4] 等采用的是 DeFries 和 Townshend^[11] 的植被分类，其对 NDVI 及 LAI 的特征参数参见表 2。在本研究中，我们将其应用于 IGBP 植被

表 1 IGBP 分类^[9,10]时的土地覆被类型与 NDVI 及 LAI 的特征参数值

I_V	植被类型	I_{NDV98}	I_{NDV02}	I_{max}	S_i
1	常绿针叶林	0.686	0.034	8.0	0.08
2	常绿阔叶林	0.618	0.034	7.0	0.08
3	落叶针叶林	0.686	0.034	8.0	0.08
4	落叶阔叶林	0.686	0.034	8.0	0.08
5	混交林	0.686	0.034	8.0	0.08
6	密灌丛	0.618	0.034	7.0	0.08
7	疏灌丛	0.630	0.034	5.0	0.20
8	热带或亚热带乔木稀疏大草原	0.618	0.034	7.0	0.08
9	热带或亚热带稀疏大草原	0.630	0.034	5.0	0.20
10	草原	0.630	0.034	5.0	0.20
11	永久湿地	0.630	0.034	5.0	0.20
12	农田	0.630	0.034	6.0	0.20
13	城市及建筑	0.630	0.034	5.0	0.20
14	农田或自然植被交错地	0.630	0.034	6.0	0.20
15	冰雪	0.630	0.034	5.0	0.20
16	荒芜地	0.630	0.034	5.0	0.20
17	水体	0.630	0.034	5.0	0.20

表 2 DeFries 和 Townshend 植被分类时 NDVI 和 LAI 的特征参数值

I_V	植被类型	I_{NDV98}	I_{NDV02}	I_{max}	S_i
1	阔叶常绿林	0.618	0.034	7.0	0.08
2	阔叶落叶林	0.686	0.034	7.0	0.08
3	混交林	0.686	0.034	7.5	0.08
4	针叶常绿林	0.686	0.034	8.0	0.08
5	高纬度针叶落叶林	0.686	0.034	8.0	0.08
6	乔木占 10%~40% 的草地	0.618	0.034	5.0	0.20
7	乔木占不到 10 的草地	0.630	0.034	5.0	0.20
8	乔木占 10%~40% 的草地	0.618	0.034	5.0	0.20
9	灌丛及荒裸地	0.630	0.034	5.0	0.20
10	苔藓	0.686	0.034	5.0	0.20
11	荒漠地	0.630	0.034	5.0	0.20
12	耕地	0.630	0.034	6.0	0.20

分类，对其中的数值我们根据植被的特性作了适当的调整，参见表 1。

5 FPAR 的计算结果及比较

根据公式 (1)，我们分别计算了 2002 年 3、4、5、6、7、8 月的 FPAR，由于篇幅所限，这里只给出了 2002 年 3 月和 8 月的 FPAR 空间分布图 (图 5a 和 5b)，同时给出了 2002 年 3 月和 8 月的 NDVI 空间分布图 (图 5c 和 5d)，以便于比较。从图中可以看出，反演出的 FPAR 很好地反映了 NDVI 的分布趋势，但由于缺乏实测资料的验证，

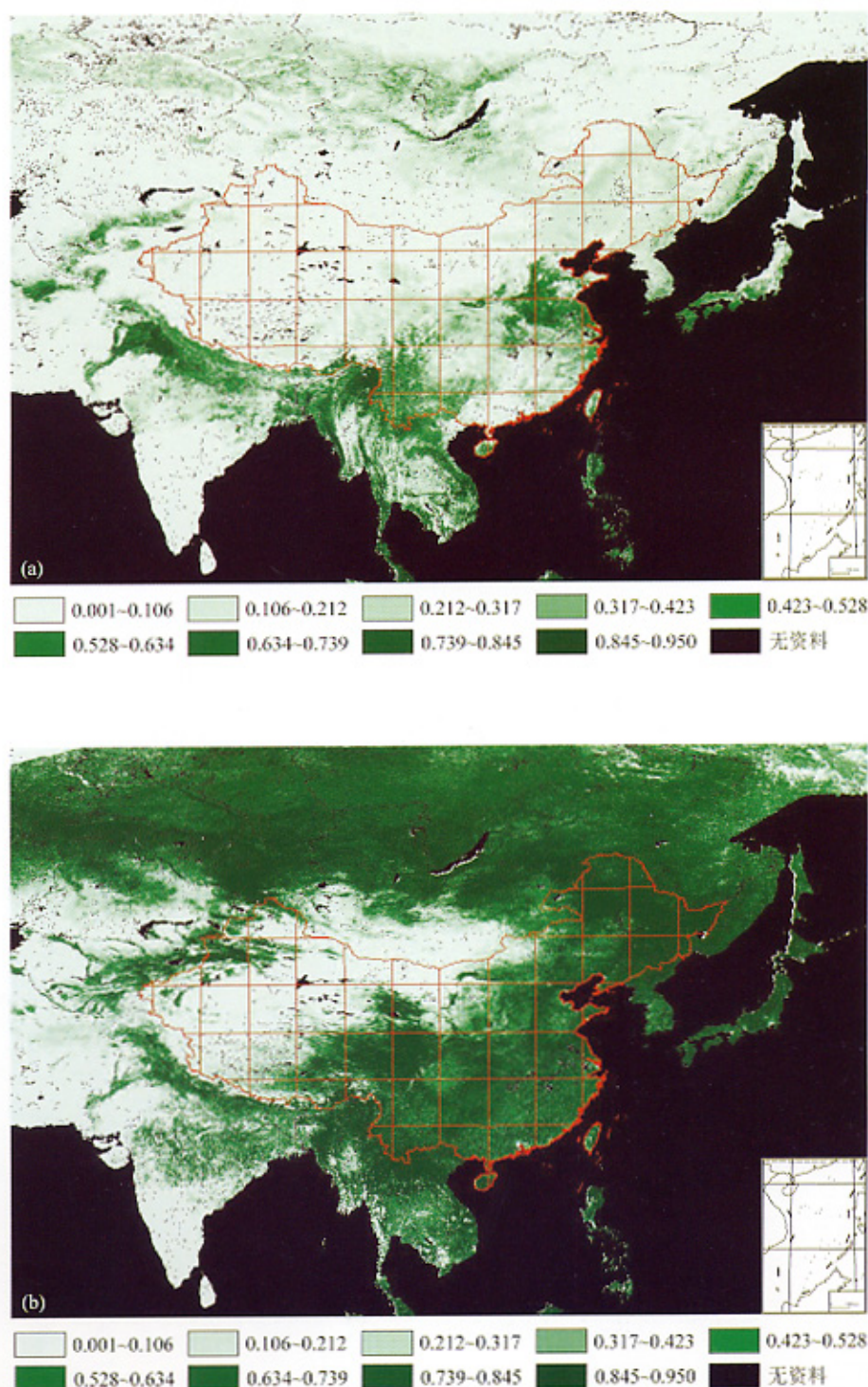


图5 反演得到的研究区域内2002年3月和8月的FPAR(经纬度坐标系)
(a) 3月的FPAR; (b) 8月的FPAR; (c) 3月的NDVI; (d) 8月的NDVI

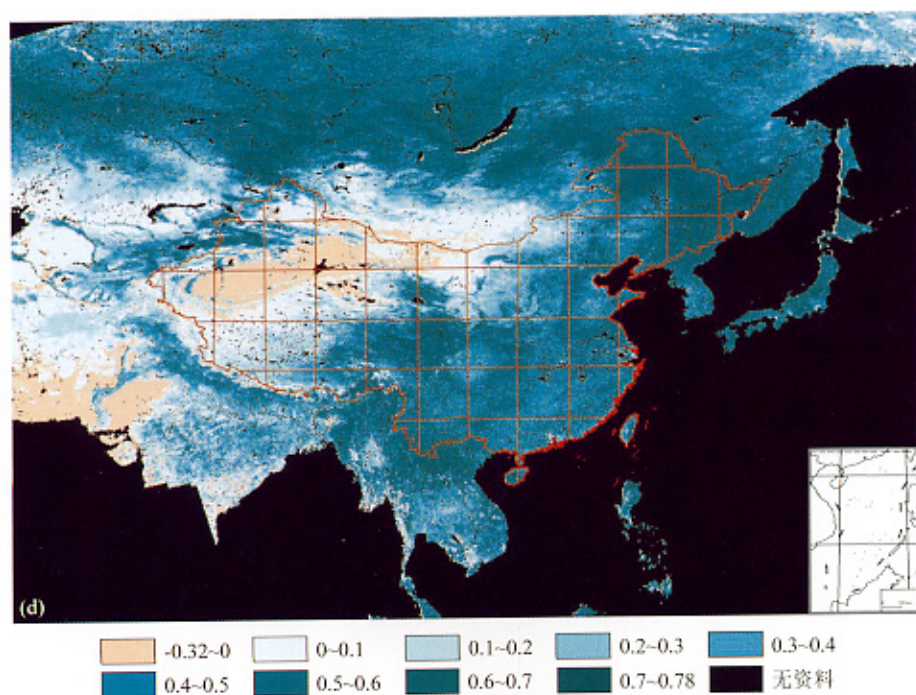
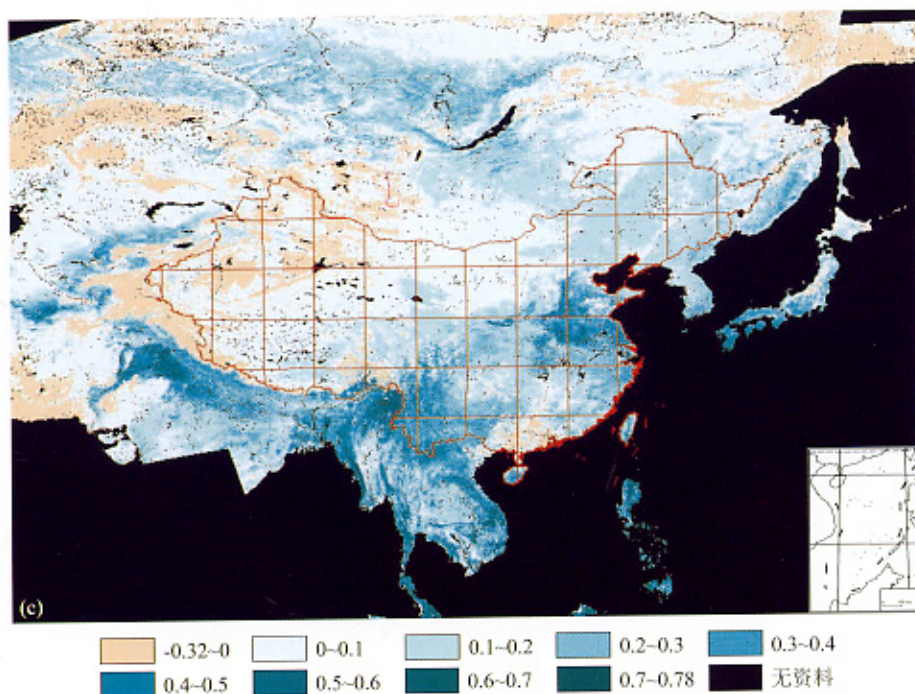


图 5 (续)

反演结果的好坏目前还无法得出具体的结论，在以后的研究中将会加强这方面的工作。由于国家卫星气象中心接收范围所限，在图 5c 和 5d 中，印度半岛有一大部分以及图的左上角和右上角分别有一小部分无 NDVI 观测值，在反演过程中，我们根据这些地区的植被类型给与其一个特定的数值。另外，图 5a 和 5c 中，广东省—长江中上游—四川盆地有一低值区，可能是这一地区 2002 年 3 月份连阴雨一直有厚厚的云层遮挡所致。

6 叶面积指数的反演

由光合作用有效辐射吸收系数 FPAR 计算叶面积指数 LAI 时，Monteith^[12] 和 Huemmrich 与 Goward^[13] 假定，对于均匀地平铺于地面的植被 FPAR 与 LAI 存在着指数关系，对于丛生集中的植被 FPAR 与 LAI 存在着线性关系。在这里我们认为对于植被类型 2、4 和 8~17，其植被均匀平铺，FPAR 与 LAI 之间存在着指数的关系；对于植被类型 1、3、6 和 7，其植被丛生集中，FPAR 与 LAI 之间存在着线性的关系；对于植被类型 5，其 FPAR 与 LAI 之间存在着指数与线性的混合关系。以下为具体的计算方法：

如果 $I_V=1$ 或 3 或 6 或 7，则 $\alpha=1$ ；

如果 $I_V=5$ ，则 $\alpha=0.5$ ；

如果 I_V 为其他类型的土地覆被，则 $\alpha=0$ ；

α 为一个判断植被是否均匀地平铺于地面或丛生集中的变量。

最后由以下的 LAI 计算公式：

$$I_1 = -[1.0/B(I_V)]\ln(1.0 - F_{PAR})(1.0 - \alpha) + F_{PAR} I_{\max}(I_V)\alpha, \quad (2)$$

$$I_0 = -[1.0/B(I_V)]\ln(1.0 - F_{PAR0})(1.0 - \alpha) + F_{PAR0} I_{\max}(I_V)\alpha, \quad (3)$$

求 0.0001 与 $I_0 - I_1$ 的最大值，用变量 m 表示，则叶面积指数 LAI(I) 可通过下式求得

$$I = I_1 + m + S_t(I_V), \quad (4)$$

$$B(I_V) = -[1.0/I_{\max}(I_V)]\ln 0.05, \quad (5)$$

其中， F_{PAR0} 是指前一个月的 FPAR， $I_{\max}$ 是指某种植被或土地覆被达到最大值时的 LAI， $S_t(I_V)$ 是一个独立于生物或植被类型的变量，后者可以在表 1 中查到。

7 LAI 的计算结果及比较

根据上面的公式，我们计算了研究区内 2002 年 3、4、5、6、7、8 月份的 LAI，同样，这里只给出了 3 月和 8 月份的 LAI 空间分布图（图 6a 和 6c），另外，为便于比较，我们在这里还给出了由 Boston 大学遥感中心陆地研究小组 Knyazikhin 等^[14,15] 和 Myne-
ni 等^[16] 依据辐射传输模式反演得到的 2002 年同期的 LAI 空间分布图（图 6b 和 6d）。由图中可以看出，我们通过计算得到的 LAI 与其^[14~16] 依据辐射传输模式反演得到的 LAI，其空间分布格局大体一致，但还存在着一定差别。在 3 月份的 LAI 分布图上，图 6a 中广东省—长江中上游—四川盆地的低值区反映得比较清楚，而在图 6b 中则没有反映出来；另外，在西伯利亚到贝加尔湖一带的次高值区在图 6a 上有反映，在图 6b 上也没有反映出来。在 8 月份的 LAI 分布图上，绝大部分非常一致，只是在我国东南

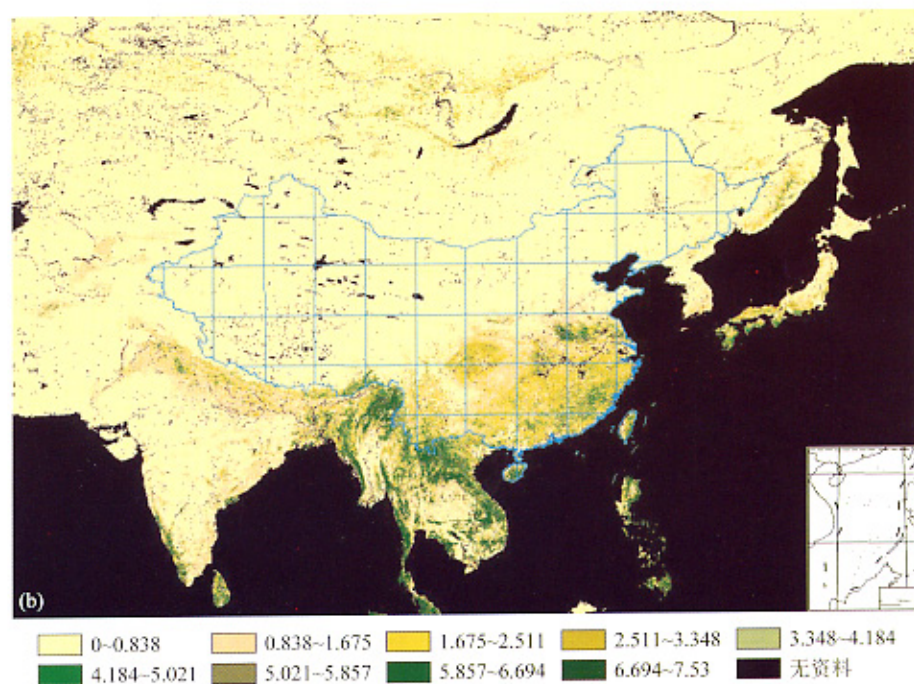
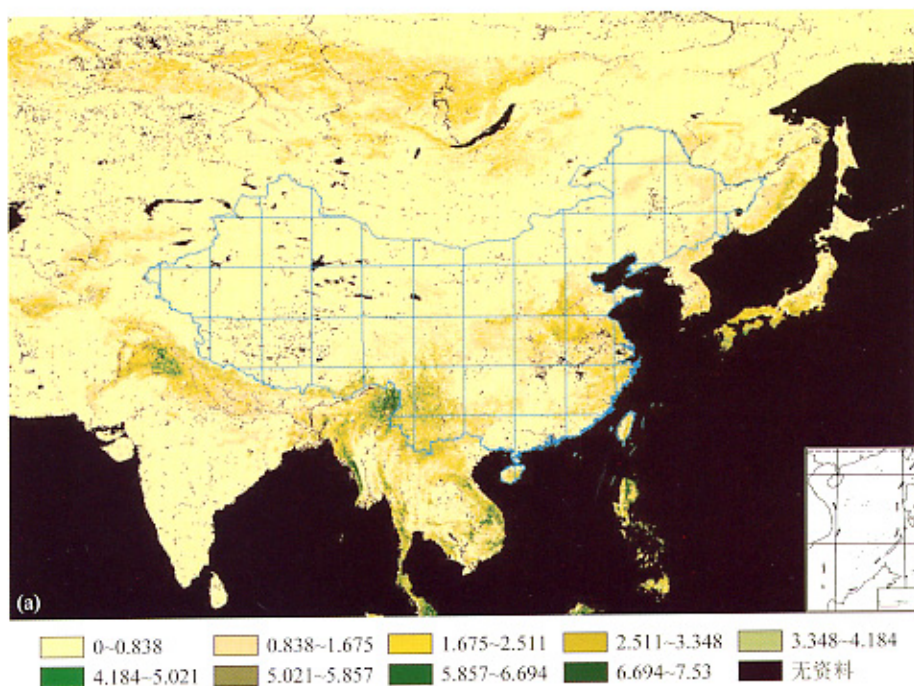


图 6 通过 NOAA NDVI 反演得到的研究区域内 2002 年 3 月 (a) 和 8 月 (c) 的 LAI 以及通过 MODIS 遥感数据根据辐射传输模式反演得到的同一时期同一区域内的 LAI (3 月 (b) 和 8 月 (d))

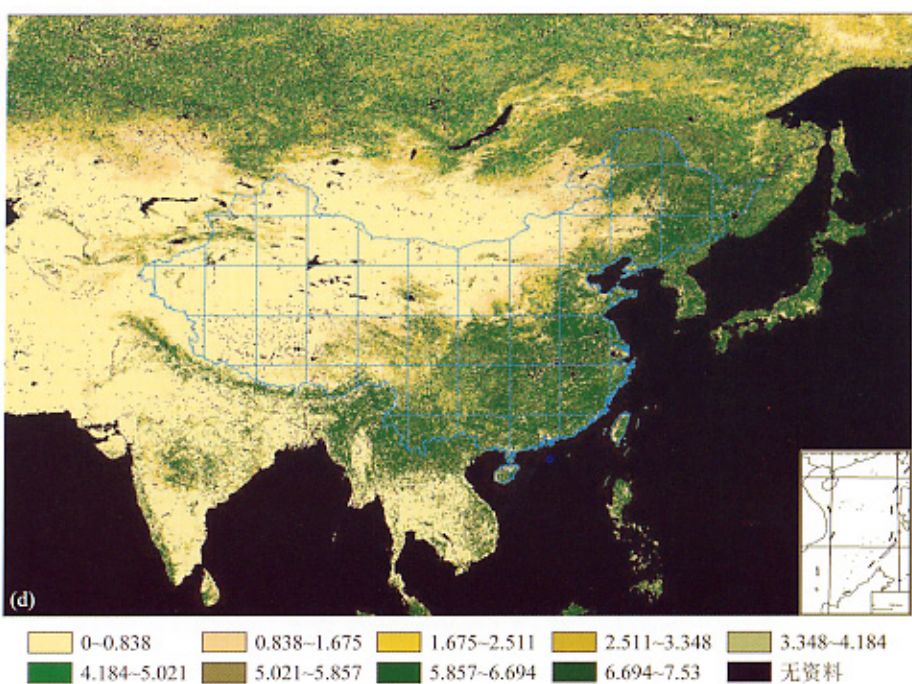
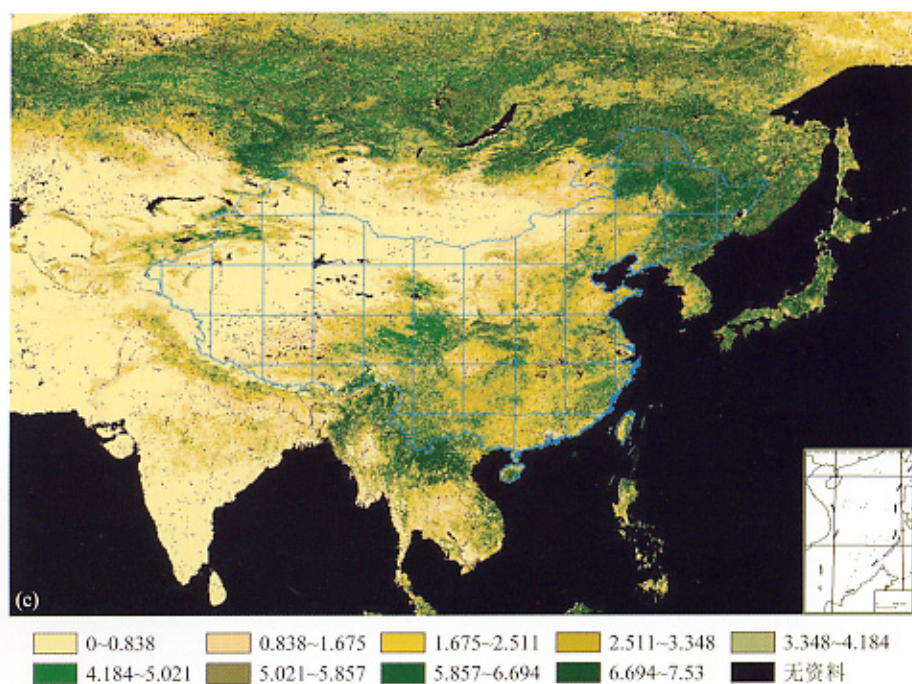


图 6 (续)

部的粮食主产区尤其是水稻产区, LAI 数值的分布图 6c 与图 6d 有所不同。8 月份正好是水稻产区第 2 季稻禾苗生长的初期, 其 LAI 值不会很高, 从原则上说, 图 6c 应该更符合实际情况。但由于目前还无法得到实际观测资料的验证, 反演结果的好坏以及对误差大小的评估尚无法进行, 这正是我们今后需要做的工作。

8 计算方法的改进讨论

上述计算 LAI 的方法是针对国际地圈生物圈计划 (IGBP) 分类系统的 17 类土地覆被类型^[9,10]进行的, 计算结果比 MODIS 数据研究小组用 6 种植被类型采用辐射传输模式反演的 LAI 其空间分布的分辨率要高。

如果我们能将土地覆被类型划分的再细一些, 而细分的这些类型其反射辐射特性以及植被指数也都能够得到, 那么, 将上述方法扩展肯定能得到更好的反演结果。

另外, 对于不同植被类型, 其 FAPR 与 LAI 的经验函数关系还需要得到实际观测资料的验证与改进, 对于不同植被类型的最大 LAI 数值在实际观测的基础上还需要作适当的调整, 并进一步完善我们的计算方法。

9 结语

从上面的计算结果来看, 采用植被指数的方法或经验的方法来推算 FPAR 以及 LAI 是可行的, 尽管其物理意义不是很清楚, 但由于其方法简单而易于计算, 目前正在得到越来越多的应用。如果今后能在实际观测的基础上针对不同植被类型完善其 NDVI 与 LAI 及 FPAR 的经验函数关系, 计算精度会相应地得到很大的提高, 且这种方法将会得到更广泛的应用。本文的计算结果在集成沙尘天气数值预报系统预报过程中得到了很好的应用^[17,18]。

参 考 文 献

- 1 Qi, J., Y. Kerr, M. Moran, M. Wetz, A. Huete, S. Sorooshian, and R. Bryant, Leaf area index estimates using remotely sensed data and BRDF models in a semi-arid region, *Remote Sensing of Environment*, 2000, **73**, 18~30.
- 2 高志强、刘纪远, 基于遥感和 GIS 的中国植被指数变化的驱动因子分析及模型研究, *气候与环境研究*, 2000, **5** (2), 155~164.
- 3 Sellers, P. J., Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration, *International Journal of Remote Sensing*, 1985, **16**, 1335~1372.
- 4 Sellers, P. J., S. O. Los, C. J. Tucker et al., A global 1 by 1 degree NDVI data set for climate studies part2: The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from the NDVI, *Int. J. Remote Sens.*, 1994, **15** (17), 3519~3545.
- 5 Friedl, M. A., A. Strahler, X. Zhang, and J. Hodges, The MODIS land cover product: multi-attribute mapping of global vegetation and land cover properties from time series MODIS data, *Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2002, Vol. IV, 3199~3201.
- 6 Friedl, M. A., D. K. McIver, J. C. F. Hodges, X. Y. Zhang, D. Muchoney, A. H. Strahler, C. E. Woodcock, S. Gopal, A. Schneider, A. Cooper, A. Baccini, F. Gao, C. Schaaf, Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results, *Remote Sensing of Environment*, 2002, **83**, 287~302.
- 7 Hansen, M. C., R. S. DeFries and J. R. G. Townshend and R. Sohlberg, Global land cover classification at the 1km spatial resolution using a classification tree approach, *Int. J. Remote Sens.*, 2000, **21**, 1331~1364.

- 8 Hall, F. G., K. F. Huemmrich, S. J. Goetz, P. J. Sellers and J. E. Nickeson, Satellite remote sensing of surface energy balance: Success, failures and unresolved issues in FIFE, *Journal of Geophysical Research*, 1992, **97** (D17), 19061~19089.
- 9 IGBP, Requirements for Terrestrial Biospheric Data for IGBP Core Projects, IGBP-DIS Working Paper #2 (June 1992), IGBP-DIS, Université de Paris, Paris, France, + appendixes, 1992, 24 pp.
- 10 IGBP-DIS, The IGBP-DIS Global 1 km Land Cover Data Set: A Validation Strategy, A. Belward, ed., IGBP-DIS, Université de Paris, Paris, France, 1995.
- 11 DeFries, R. S. and J. R. G. Townshend, NDVI-derived land cover classification at global scales, *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 15, Special Issue on Global Data Sets, 3567~3586.
- 12 Monteith, J. L., *Principles of Environmental Physics*, Edward Arnold, 1973, 242 pp.
- 13 Huemmrich, K. F., and S. N. Goward, Spectral vegetation indexes and the remote sensing of biophysical parameters, Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), held in Houston, Texas, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1992, 1017~1019.
- 14 Knyazikhin, Y., J. V. Martonchik, D. J. Diner, R. B. Myneni, M. M. Verstraete, B. Pinty, and N. Gobron, Estimation of vegetation canopy leaf area index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation from atmosphere-corrected MISR data, *J. Geophys. Res.*, 1998, **103**, 32239~32256.
- 15 Knyazikhin, Y., J. V. Martonchik, R. B. Myneni, D. J. Diner, and S. W. Running, Synergistic algorithm for estimating vegetation canopy leaf area index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation from MODIS and MISR data, *J. Geophys. Res.*, 1998, **103**, 32257~32275.
- 16 Myneni, R. B., R. R. Nemani and S. W. Running, Estimation of global leaf area index and absorbed par using radiative transfer models, *IEEE Transactions on Geoscience Remote Sensing*, 1997, **35**, 1380~1393.
- 17 孙建华、赵琳娜、赵思雄, 一个适用于我国北方的沙尘暴天气数值预测系统及其应用试验, 气候与环境研究, 2003, **8** (2), 125~142.
- 18 Shao Yaping, Yang Yan, Wang Jianjie et al, Northeast Asian dust storms: Real-Time Numerical Prediction and Validation, *Journal of Geophysical Research*, 2003, **108** (D22), 4691~4708.

Derivation of Earth Surface Parameters in Vegetation Properties Supported by GIS Techniques

Zhang Shihuang, Peng Gongbing, and Huang Mei

(Institute of Geographical Science and Natural Resource Research,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

Abstract Utilizing the empirical functions between the FPAR (Fraction of Photosynthetic Active Radiation) or LAI (Leaf Area Index) and the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) related to different land cover type, which were established by Sellers P. J. et al. on the basis of field observation, it has been tried to estimate the parameters of land vegetation cover properties such as FPAR and LAI in the region of 5~65°N, 60~150°E, which are needed for our research. For the data input, two kinds of data have been taken. One is the NDVI original imagery data received from NOAA-16 by the National Satellite Meteorological Center of China with the resolution of 1 km in the above region, and another is the grid data of global land cover types in a classification of IGBP with a resolution of 1 km, which was derived from the MODIS relevant radiative data in the period from 15 October, 2000 to 15 October, 2001 by the Land Research Group, Remote Sensing Center of Boston University. A helpful result for further research has been obtained, and it was successfully applied to the Integrated Numerical Prediction System for Dust Weather successfully.

Key words: leaf area index; earth surface parameters in vegetation properties; land cover type; remote sensing; geographic information system