

通量贡献区叶面积指数空间分布的测定*

李正泉¹ 于贵瑞^{1**} 赵风华¹ 伏玉玲¹ 李英年²

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 北京 100101; 2. 中国科学院西北高原生物研究所 西宁 810001)

摘要 使用循环采样设计方案,对海北沼泽化湿地生态系统涡度相关通量观测塔的通量贡献区内叶面积指数进行了实地调查。根据样方叶面积指数的实地测量值和样方的 GPS 空间定位信息,利用空间插值方法绘制了通量贡献区内的叶面积指数空间分布图。并基于数字摄影与地理信息系统技术,提出了一种测量速度快、计算精度高、适合多种植物叶片叶面积测量的新方法。该方法在 ArcGIS 的 GRID 模块下对叶片图像进行格式转化和重新采样处理,使用自行编写的色阶诊断程序提取图像中叶片的叶面积。研究结果表明:此种方法叶面积测量结果与 LI3000A 叶面积仪所测的结果具有很好的吻合性,两者的线性回归方程决定系数 R^2 为 0.98,叶面积的测量精度完全可以达到实际应用中的测量要求。

关键词 叶面积指数 循环采样 GIS 空间分布 涡度相关 湿地

Spatial distribution measurement of leaf area index in flux contributing source of eddy covariance flux tower. LI Zhengquan¹, YU Guirui¹, ZHAO Fenghua¹, FU Yuling¹, LI Yingnian² (1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China), *CJEA*, 2007, 15(6): 131~134

Abstract Cyclic sampling design was used to investigate leaf area index (LAI) in flux contributing source of eddy covariance flux tower swamp ecosystems of Haibei. Depending on measured values of LAI and geographical information of GPS sample positions, spatial distribution map of LAI in flux contributing source was mapped out using spatial interpolation method. A new method of measuring leaf area based on digital photography and geographic information system technology was advanced. It is a quick and high-precision method, well adaptable to a diversity of vegetation leaf. In the GRID environment of ArcGIS, original format of digital image of the leaf was transformed and the leaf image resolution made finer by using re-sampling functions. Leaf area was then extracted from the digital leaf image using self-ordained chroma diagnosis program in arc macro language (AML). The results suggest that leaf area values computed by the method match well with measured leaf areas by instrumental methods (LI3000A), as their linear regression determination coefficient (R^2) turn out to be 0.98. It demonstrates that the accuracy of leaf area measurement by the method meets practical leaf area measurement requirements.

Key words Leaf area index, Cyclic sampling design, GIS, Spatial distribution, Eddy covariance, Swamp

(Received Feb. 28, 2006; revised May 19, 2006)

叶面积指数是描述植被群体状况的一个非常重要的参数,控制着植被许多生物和物理过程,如光合、呼吸、蒸腾、C 循环和水循环等。在有关大气与生态系统之间的物质和能量交换过程的各种研究中都需要叶面积指数资料^[5]。涡度相关通量观测塔的通量贡献区内叶面积指数测定,对研究陆地生态系统和大气之间水、C 等物质传输和能量交换机理及通量模型的研发验证来说是一项不可缺少的内容^[6]。由于通量贡献区涉及的范围较大,叶面积指数的获取比较困难。遥感技术的发展虽为大范围叶面积指数观测提供了一定的条件,但由于大气状况和地表非均质性的影响,遥感图像反演得到的叶面积指数有很大的不确定性^[7],仍需要得到地面观测资料的验证,因此进行叶面积指数的实地测量具有重要意义。叶面积指数空间分布的研究,要求尽可能在同一时间内进行空间采样,以避免因采样时间不同,植被生长状况发生变化造成的采样误差^[8],这就需要寻找一种既能降低采样频率、节省采样时间,又能有效地研究叶面积指数空间变异性的采样方案。目前叶面积的测量方法有很多,传统方法主要有网格法、复印称重法、直尺法、回归方程法、叶面积仪法等^[1],其中网格法和复印称重法测

* 中国科学院知识创新重大项目 (KZCX1-SW-01-01A) 和国家重点研究发展规划 (973) 项目 (2002CB412501) 资助

** 通讯作者

收稿日期:2006-02-28 改回日期:2006-05-19

量精度较高,但测定速度很慢,尤其不适合大量采样和室外实时作业;直尺法和回归方程法试验前需测定一些特定系数,虽易于获取数据但误差很大;进口光电叶面积测定仪测定,虽然准确快速,但价格昂贵,且对所测量叶片的大小也有严格的限制。近来出现的利用图像处理软件(主要指 Photoshop 和 CAD)对拍摄的植物叶片图像进行分析,计算叶面积指数的方法^[1,2]也有不足之处,如对叶面积指数的计算精度取决于拍摄图像的像素大小,若拍摄图像的分辨率过低则会降低叶面积指数的计算精度。因此需要研究一种快速、准确测定叶面积的新方法。本研究使用循环采样设计方案,对海北湿地涡度相关通量贡献区内的草本植物进行调查取样,利用数字摄影与地理信息系统技术,分析通量贡献区内叶面积指数的空间分布特征,并提出了一种具有快速测量能力、计算精度高、适合多种植物叶片叶面积测量的新方法。

表 1 循环采样设计方案模式

Tab. 1 Cyclic sampling design patterns

循环方式 Cyclic mode	循环长度 Cyclic length	采样点数 Sampling point number	采样位置 Sampling position
1/1	1	1	0
2/3	3	2	0, 1
3/7	7	3	0, 1, 3
4/13	13	4	0, 1, 3, 9
5/21	21	5	0, 1, 4, 14, 16
6/31	21	6	0, 1, 3, 8, 12, 18
7/37	37	7	0, 1, 6, 10, 17, 23, 30

年均温 - 2.0℃, 年均降水量约 600mm, 多集中在夏半年。在沼泽化湿地生态系统中安装涡度相关通量观测装置, 对该生态系统的水、C 通量进行长期连续观测。

本研究使用循环采样设计方案, 于 2004 年 8 月对该涡度相关通量贡献区内的叶面积指数进行了实地调查。循环采样的思想最早应用于时间变异性的研究中^[9], 是以时间为步长进行一维采样的方法(表 1), 后来被运用到空间变异性的研究中, 以空间距离步长代替时间步长, 并将一维时间采样拓展为二维空间采样^[10]。Burrows^[11]等人指出传统的采样设计方案, 如截面采样、随机采样和等距离采样等, 对植被类型和叶面积指数的空间分布, 尤其是存在空间自相关的研究目标来说, 可能不是最有效的采样方案, 而循环采样方案在降低采样频率的前提下, 仍能够在不同的步长(距离)上保持采样的密度, 是研究叶面积指数空间变异性的一种十分有效的采样方案。本研究以通量观测塔为中心, 沿东南西北 4 个方向分别使用 4/13 的循环采样设计方案在通量贡献区内设置叶面积指数的采样样方, 采样的基本步长为 25m(图 1), 循环长度为 13 个基本步长, 只在 0、1、3、9 基本步长的倍数处设置采样点(样方)。

在通量观测塔的周围 450m × 450m(约等于通量贡献区的面积)区域内, 按照上述的循环采样方式进行田间采样。除去观测塔处的采样点, 通量贡献区共设置 48 个采样样方, 采样样方大小为 0.5m × 0.5m。使用差分 GPS 对样方的位置进行精确定位(定位精度在 1m 之内), 具体采样方式如下: 首先, 在 GPS 定位处贴地面放置预先制作好的 0.5m × 0.5m 的样方框, 并区分开样方框界定内和样方框外的植物, 以保证准确的采样样方面积; 其次, 在样方框内四角处和中心点紧贴地面从植物根部剪取植物样本, 并立刻密封剪下的植物样本, 防止叶片水分散失而发生卷曲, 称取鲜重后带回室内进行下一步处理; 最后, 将样方框内剩余的植物按照剪取植物样本的方式全部剪下并称重。

基于 GIS 软件计算叶面积的工作原理是: GRID 格式图像是由矩阵排列的若干像元(Pixels)组成, 只要统计出图像中叶片所占的像元数, 再乘以每个像元所占的实际面积就可以计算出叶片的面积^[3]。假设 S_T 表示整个图像面积, 即标准板面积; S_{leaf} 表示目标图像(叶片)的面积; N_T 表示整个图像的像元数; N_{leaf} 表示叶片图像的像元数。则叶片的面积为: $S_{leaf} = N_{leaf} \cdot (S_T / N_T)$ 。

基于 GIS 软件环境计算叶面积指数的具体操作流程如图 2。首先, 将从野外取回的密封植物具有光合能力的叶片全部剪下, 平铺在硬质白纸制作的基准板上。其次, 对平铺在基准板上的叶片进行多次重复垂

1 研究区概况和研究方法

试验区位于中国通量观测研究网络(ChinaFLUX)的海北通量观测站, 位置为东经 101.327°, 北纬 37.609°, 海拔 3100 ~ 3200m。地处大陆腹地, 多滩地和低丘。具有明显的高原大陆性气候特点, 无四季之分, 仅冷暖二季之别, 冬季漫长而寒冷, 夏季短暂而气温稍高, 全年总辐射量达 6000 ~ 7000MJ/

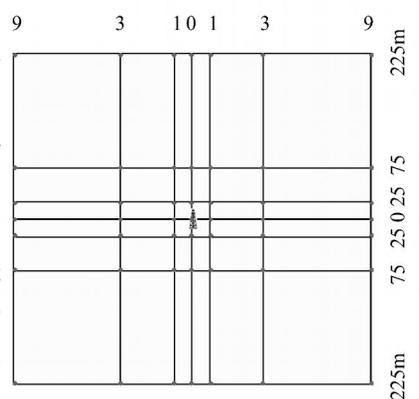


图 1 通量贡献区叶面积指数循环采样设计方案 *

Fig. 1 Cyclic sampling design pattern of LAI in flux contributing source

* 图中心的标志为通量观测塔。

直拍照, 拍摄图像应包括基准板整个区域。第三, 为了提高原始拍摄图像像元的分辨率, 需对原拍摄的图像进行重采样。在 GIS 软件 GRID 模块下, 先利用 Imagegrid 函数将拍摄的图像转换为易被该操作软件识别的 GRID 格式黑白图像, 再利用 Resample 函数对原拍摄的图像分辨率进行重采样, 使原图像的分辨率由 3mm 提高到 0.3mm, 从而提高叶面积的计算精度^[4]。第四, 通过对比分析图像中叶片和背景(基准板)的像元值, 即两者的色差, 定义提取叶片像元的阈值。根据该阈值编写从图像中提取叶面积的 AML 色阶诊断程序, 并对所有图像进行批处理, 可大幅度减少人工操作^[4]。最后, 根据植物样本叶的叶面积以及植物样本占样方内植物总重的比率(比重系数), 即可以计算出样方的叶面积, 再用计算出的样方叶面积除以样方的实际面积(0.25m²), 就可以得到样方的叶面积指数。

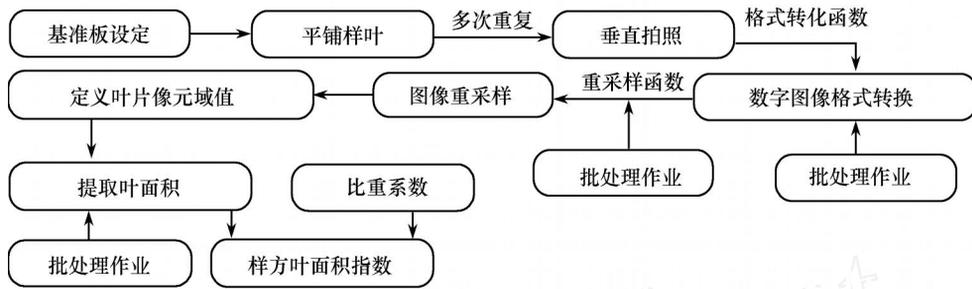


图 2 GIS 软件环境下计算叶面积指数的具体实验操作流程

Fig. 2 Flow chart of calculating leaf area index in GIS software environment

2 研究结果分析

2.1 叶面积的测量与精度分析

本研究应用数字摄影和 GIS 技术测量计算了 15 种形状不同、叶片长宽比各异的植物叶片叶面积, 并应用叶面积仪 LF 3000A (LFCOR) 方法测定的这些植物的叶面积进行比较, 结果发现本研究叶面积测量方法和叶面积仪 LF3000A 测定的叶面积具有很强的吻合性, 其线性回归方程 ($y = 1.0x$) 的决定系数 R^2 为 0.98(图 3), 由此可见, 基于数字摄影与地理信息系统技术的叶面积测量是一种测量速度快、计算准确、精度高、能够适合多种植物叶面积测量的新方法。

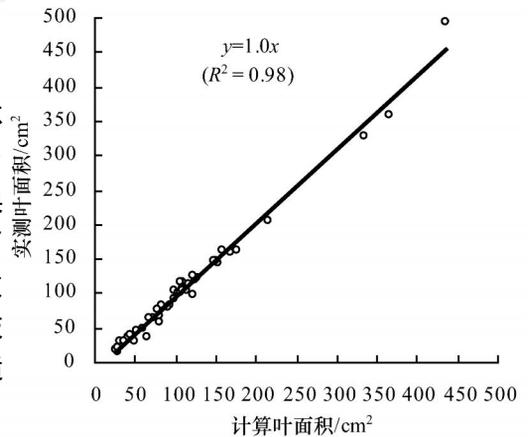


图 3 两种叶面积测量方法测量结果的比较

Fig. 3 Comparison of leaf area measured by two methods of GIS and LF3000A

2.2 通量贡献区内叶面积指数的空间分布

本研究采用循环采样设计方案在沼泽化湿地生态系统通量贡献区内共采集了 48 个样方的植物样本, 由图 2 的操作流程获

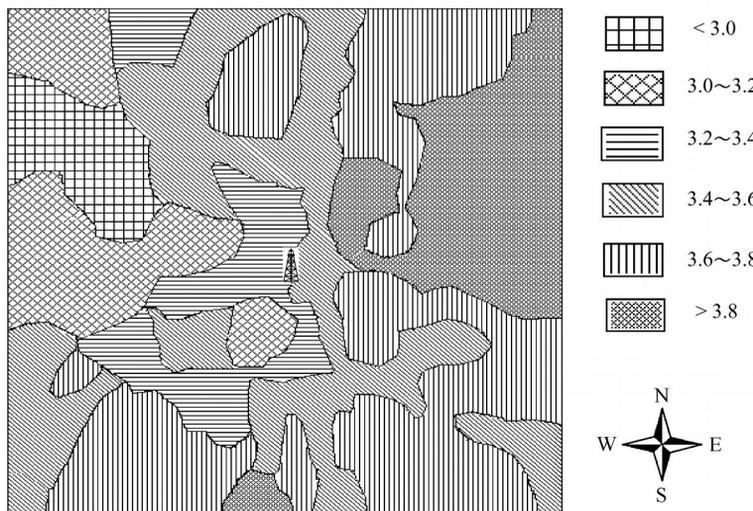


图 4 通量贡献区内叶面积指数的空间分布

Fig. 4 The LAI spatial distribution in flux contributing source

得了每个样方的叶面积指数。结果表明, 通量贡献区内叶面积指数变化范围在 1.38 ~ 6.54 之间, 叶面积指数的平均值为 3.50。根据采样样方的叶面积指数和样方的 GPS 空间定位信息, 利用 Kring 空间插值函数研究了通量贡献区内叶面积指数的空间分布特征^[12](图 4)。结果表明, 叶面积指数在空间分布上存在着一定变异。总体上说, 从西北向东南, 叶面积指数逐渐变大, 且通量塔西测的叶面积指数小于东测。

3 结论

本研究基于数字摄影与地理信息系统技术, 在 GIS 软件环境下探索了一种植

物叶面积测量新方法,并使用循环采样设计方案对通量贡献区内植物叶面积指数进行了实地调查,分析了叶面积指数的空间分布特征。基于数字摄影与地理信息系统技术的植物叶面积测量方法,由于在叶片图像处理的一些主要环节采用了批处理程序,大大减少了人工操作,提高了叶面积的测量速度。另一方面由于使用图像重采样技术提高了原叶片图像的像元分辨率,降低了利用一般图像处理技术计算叶面积时由于图像像素过低而造成的叶面积计算误差,基本上摆脱了拍摄时图像分辨率的限制。而且本研究在对叶面积指数空间分布调查中,由于采用了循环采样的设计方案,在降低采样频率的前提下,仍能够在不同步长(距离)上保持采样密度,从而简化了叶面积指数空间变异性的研究。然而在本研究中也存在着一定的不足,如在叶片图像处理过程中,没有考虑数码相机摄影时产生的形变误差对叶面积测量的影响;另一方面,通量贡献区面积只根据涡度相关系统安装的高度进行了粗略估算,仍需要进一步的研究才能精确定量。

参 考 文 献

- 1 杨劲峰,陈清,韩晓日. 数字图像处理技术在蔬菜叶面积测量中的应用. 农业工程学报, 2002, 18(4): 155 ~ 158
- 2 徐贵力,毛罕平,胡永光. 基于计算机视觉技术参考物法测量叶片面积. 农业工程学报, 2002, 18(1): 154 ~ 157
- 3 汤国安,赵牡丹. 地理信息系统. 北京:科学出版社, 2000. 92 ~ 97
- 4 樊红,詹小国. ARC/INFO 应用与开发技术. 武汉:武汉大学出版社, 2002. 231 ~ 255
- 5 Foley J. A., Levis S., Prentice I. C., *et al.* Coupling dynamic models of climate and vegetation. *Global Change Biol.*, 1998, 4: 561 ~ 579
- 6 Gower S. T., Kucharik C. J., Norman J. M. Direct and indirect estimation of leaf area index, fAPAR and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sens. Environ.*, 1999, 70: 29 ~ 51
- 7 Walthall C., Dulaney W., Anderson M., *et al.* A comparison of empirical and neural network approaches for estimating corn and soybean leaf area index from Landsat ETM+ imagery. *Remote Sens. Environ.*, 2004, 92: 465 ~ 474
- 8 Pettitt A. N., McBratney A. B. Sampling designs for estimating spatial variance components. *Appl. Stati.*, 1993, 42: 185 ~ 209
- 9 Clinger W., Van Ness J. W. On unequally spaced time points in time series. *Ann. Stat.*, 1976, 4: 736 ~ 745
- 10 Clayton M. K., Hudelson B. D. Confidence intervals for autocorrelations based on cyclic samples. *Am. Stat. Assoc.*, 1995, 90: 753 ~ 757
- 11 Burrows S. N., Gower S. T., Clayton M. K., *et al.* Application of geostatistics to characterize leaf area index (LAI) from flux tower to landscape scales using a cyclic sampling design. *Ecosystems*, 2002, 5: 667 ~ 679
- 12 Oliver M. A. A method of interpolation for geographical information systems. *International J. of GIS*, 1990, 4(4): 313 ~ 332