

文章编号: 1007-4619 (2002) 04-0241-05

植被冠层热点的季相和日相变化

苏理宏¹, 李小文^{1,2}, A. Stralher², E. Tsvetsinskay², 王锦地¹

(1. 北京师范大学 遥感与 GIS 研究中心, 北京 100875;

2. Center for Remote Sensing and Dept. of Geography, Boston University, Boston, 21215, MA, USA)

摘要: 随着热点卫星 Triana 的即将发射, 地表热点季相和日相变化的研究变得日益重要。以几种植被冠层为例, 采用计算机模拟的方法考查冠层热点的季相和日相变化。

关键词: 热点; 遥感模型; 计算机模拟; 植被可视化

中图分类号: TP 701 **文献标识码:** A

1 热点与 Triana 卫星

由于太阳方向与观测方向不同, 在一个像元内存在光照植被、光照土壤、阴影植被和阴影土壤四个分量^[1]。当观测方向与太阳方向完全重合时, 像元内只能观测到光照植被和光照土壤, 此时像元最亮, 这称为热点。热点处传感器接收信号为 2 个分量的面积加权和:

$$S = K_g \cdot G + K_c \cdot C \quad (1)$$

这里 K_g 是视场 A 内地面受阳光直照部分的面积与 A 之比, K_c 是视场 A 内冠层承照表面的投影面积比, G 和 C 分别为直照地面和直照冠层在给定日照条件下的实际亮度。由于太阳的辐照度随季相和日相变化, 为简化传感器所接收信号的转换和比较不同时相的信号, 我们使用相对值而不是辐射度绝对值。由式(1)可知热点处像元反射率由 K_g , K_c 和直照地面与直照冠层的反射率决定, 地面与冠层的反射率作为物质固有的属性不随日照条件变化, 因此可以用像元内 K_g 的变化来解释热点的变化。植被地表二向反射规律的研究早已表明, 热点区间是二向反射分布中最富信息的区域^[2,3]。

Triana 热点卫星^[4]搭载多光谱成像仪 Scripps-EPIC (Scripps Earth Polychromatic Imaging Camera), 定位在地球/太阳的重力平衡点 L_1 (Lagrange 点) 提供 8km 空间分辨率的全球影像, Triana 到地球的距离是

地球和月球距离的 4 倍, 卫星基本定位在太阳与地球的连线上的。Triana 每 15 分钟就可以发送一幅地球整个太阳光照面的影像, 以前必须把成千的来自低轨道和地球静止卫星的测量数据综合起来才能得到可与此媲美的观测。

Triana 的科学目标是: (1) 直接测量地球整个太阳光照面的辐射发射能力, 了解太阳辐射能量在大气中吸收的数量, 改进对全球气候的理解; (2) 观测植被冠层结构和演进, 监测地球植被; (3) 测量臭氧和云覆盖, 研究它们对到达地面的紫外辐射数量的影响; (4) 测量全球气溶胶光学厚度, 积累人类和自然所产生污染的知识; (5) 改进太阳风和磁场特征的理解, 为易受太阳扰动影响的通讯卫星和其地面系统提供早期预警系统。Triana 将于 2002 年 6 月发射, 预期寿命 2—5 年。

热点日相和季相变化的观测和评价有助于监测地球表面植被生长状态, 植物的三维建模与模拟使得我们可以研究冠层结构对热点的影响。遥感地面实验时, 由于传感器本身的尺寸, 放置在太阳方向时, 总是要挡住视场中的阳光, 这使得直接观测热点并不容易。计算机模拟是遥感机理研究的重要手段之一, 系统和过程的模拟给了我们一个理解其本质的有利工具, 如果模型工作正确, 可以改变它的参数以了解系统对不同环境的响应。我们用 C 语言开发像元场景模型 CSM (computer scene model), 生成三维真实结构场景, 并基于计算机图形学的深度排序

收稿日期: 2001-05-15; 修订日期: 2001-07-11

资助基金: 973 项目 G20000779 和自然科学基金 49971059. Journal of Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

作者简介: 苏理宏 (1965—), 男, 2000 年毕业于中国科学院遥感应用研究所, 获博士学位。主要研究领域为遥感物理模型, 遥感成像机理计算机模拟, 空间数据和空间决策模型的集成与管理。已发表论文、专著 20 余篇。

算法开发了光拦截模型 LIM(light interception model)来计算各种太阳天顶角和方位角下的光照植被和光照土壤。本文以几种植被冠层为例,采用计算机模拟的方法调查冠层热点的季相和日相变化。

2 方 法

我们基于三维结构真实冠层模型模拟光在冠层中的散射,主要由 7 个步骤组成。(1)野外测量玉米植株的生物物理参数,如植株高度、叶基高、叶片尺寸和叶片弯曲形状。基于这些测量获得玉米各个生长期的结构参数统计规律。(2)从得到的统计规律用 CSM 模型^[5-7]得到单株玉米的三维结构真实图形。(3)按像元内玉米的空间模式,例如行播或随机分布播种,来配置单株玉米。(4)使用 LIM 模型^[5,8]计算各种观测和太阳方向条件下的热点。(5)计算玉米结构参数和日相季相变化的相关性,试图发现关键影响因子。直接模拟 8km Triana 卫星像元场景的光与植被的相互作用是卤莽的;遥感尺度效应的研究表明^[9,10],像元内无地形起伏的条件下,若像元具有与亚像元相同的植被分布模式,遥感像元尺度模型与遥感亚像元尺度模型具有尺度不变性,即亚像元尺度模型可直接用于遥感像元尺度。由此,我们选取 180cm * 150cm 的行播玉米和 400cm * 400cm 的随机分布的树木作为模拟的基准,模拟实验的结论将有助于我们理解 Triana 卫星的数据。

2.1 生物物理参数测量

我们于 2000-05-30, 06-09, 06-19, 06-29, 07-10 在北京测量了玉米的结构参数。测量由以下 4 个部分组成:(1)叶片大小和轮廓;(2)叶片弯曲形状;(3)叶基高;(4)叶片方位角分布。此玉米的叶面倾角分布是喜直型的。归一化处理后叶片轮廓和弯曲特征可用二项式表示。而叶片的方位角分布则倾向于向与玉米行垂直的平面集中。这 5 个生长期玉米的平均高度分别是 30cm, 60cm, 96cm, 140cm, 210cm。

2.2 结构真实冠层生成

根据野外测量所得数据,先使用 CSM 生成结构真实的三维像元场景。这里,我们在 180cm * 150cm 的土壤上模拟按 3 行种植的 15 棵玉米,行间距是 60cm,玉米行内间距是 30cm。在这一假设下 5 次测量的叶面积指数分别是 0.26, 0.65, 2.30, 3.50 和 4.13。模拟的玉米冠层通常由数千个多边形组成,

植株种在南北向的行中。叶片有两种分布方式,(1)叶片方位角分布向与垄向垂直的平面集中,(2)叶片具有较均匀的方位角分布。叶面积指数的季相变化和结构真实场景如图 1 和图 2,图 2 是叶片方位角分布向与垄向垂直的平面集中时的场景。

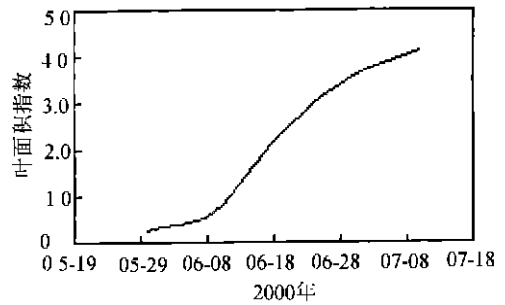


图 1 玉米叶面积指数的季相变化

Fig.1 Seasonal change of the corn LAI

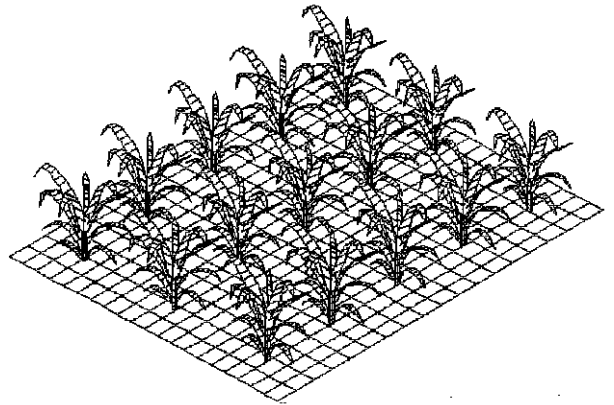


图 2 按 2000-06-19 测量数据生成的结构真实冠层

Fig.2 Architecturally realistic canopies at one growth stage

2.3 太阳位置计算

已知观测地的经纬度和观测的时间,可以计算出太阳的位置^[11]。太阳高度角 h_{\odot} 和太阳方位角 φ_{\odot} 可用以下公式计算:

$$\sin h_{\odot} = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \tau$$

$$\cos \varphi_{\odot} = \tan h_{\odot} \cdot \tan \varphi - \sin \delta / (\cos h_{\odot} \cdot \cos \varphi)$$

这里, δ 为太阳赤纬, τ 为观测时的太阳时角, φ 为测点的地理纬度,计算时需要做年度订正、经度订正和时间订正。北京观测地点的经纬度是 116.5E, 40.0N, 我们可以得到 5 个生长期测量日的每天 17 次太阳天顶角和方位角,它们是一天中 8:30-16:30, 半小时间隔的太阳位置。图 3 显示了 2000-06-19 北京地区太阳的天顶角和太阳位置与正南方方位夹角的绝对值。

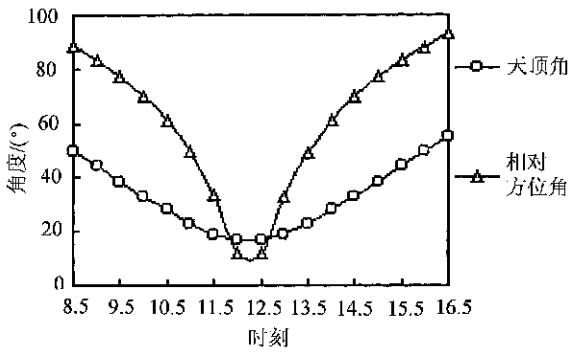


图 3 在 2000-06-19 一天内的太阳位置
Fig.3 Sun position during June 19, 2000

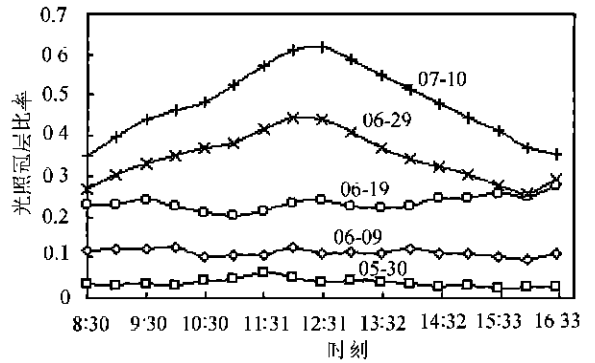


图 4 叶片方位角趋于垂直垄向时 5 个生长期
光照叶片所占的分额
Fig.4 Proportions of the sunlit foliage
at 5 growth stages

2.4 基于深度排序方法的光拦截模型

我们基于计算机图形学中的深度排序方法发展了光拦截模型 LIM(Light interception model)^[5]。通过 4 个步骤可得光照叶片和光照土壤:(1)按照太阳方向设置观测参考点;(2)构成冠层的所有多边形按到观测点的递减深度排序;(3)设置土壤为褐色,叶片为绿色,从最深处开始填充多边形,这样在最后的图像上褐色和绿色区域分别就是光照土壤和光照地面;(4)植被都有一定的高度,侧视投影时本像元内的植被会超出像元范围,邻接像元的植被也会投影本像元内。因此我们总是模拟一块比一个像元更大的场景,然后再以像元范围切割,切出一个像元后计算光照土壤和光照叶片所占分额。到此,我们获得某太阳方向一个遥感像元内的光照土壤和光照叶片的面积比例。

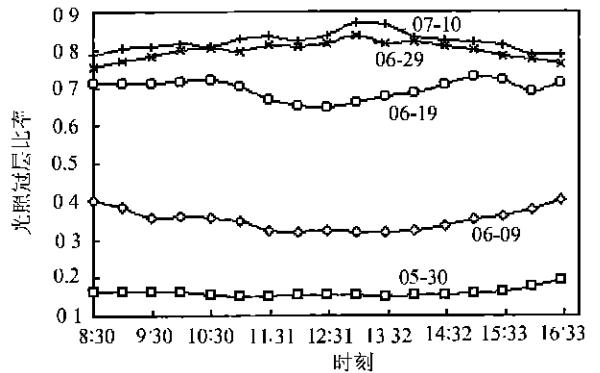


图 5 叶片方位角均匀分布时 5 个生长期光照
叶片所占的分额
Fig.5 Proportions of the sunlit foliage
at 5 growth stages

2.5 多生长期玉米模拟试验

我们使用像元场景模型 CSM 和光拦截模型 LIM 来计算 5 个生长期一天中 17 次太阳方向条件下光照土壤和光照叶片。由于太阳的位置变化和玉米的行播结构,一天中 8:30 和 16:30 时刻太阳是垂直于玉米行的,而 12:00 则是平行于玉米行的。因此,所观测到的玉米冠层热点在 8:30 和 16:30 是在垂直于玉米行的方向上获得的,在 12:30 则是在平行于玉米行的条件下获得的。针对两种叶片分布的 5 次计算结果如图 4 和图 5。

迄今为止,我们发现当冠层稀疏时光照叶片的分额几乎没有实质的变化。而当冠层变得稠密时,对于叶片趋于与垄向垂直平面的分布,在正南方向光照叶片的分额达到最大值,也就是说在顺垄方向达到最大值。而叶片方位角分布较均匀时,各个方

向上光照叶片的分额变化不大。在这 5 个生长阶段上,叶面积指数与光照叶片的分额间的相关系数均超过 0.97。显然,叶片方位角的分布严重影响各热点方向上光照叶片分额的变化。

2.6 树冠模拟试验

当树叶长起来后,一年内树冠的形状变化一般不会太大,为简单处理起见我们假设树冠的大小和叶片是不变的。同样使用与玉米相同的 5 个时段来考察光照树冠与光照土壤的分额变化。这里我们假设树冠位置在像元内是随机分布的,树高和树冠大小也是随机的,所模拟的像元尺寸为 400cm * 400cm, 24 棵树,树冠直径在 60—80cm 间,树高在 80—120cm 间,树冠下垂直叶面积指数为 7,叶片倾角在树冠内呈球型均匀分布,叶片为 3cm * 3cm 的正方形,土壤划分成 4cm * 4cm 的正方形,这样树冠由超过 20000 个的多边形组成,土壤由 10000 个多

边形组成(图 6)。图 7 是 5 个观测日像元内光照树冠面积上的分额变化,可以看出光照树冠在各个时期基本保持不变。

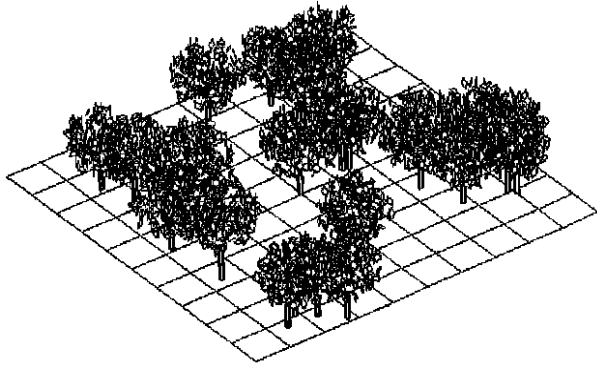


图 6 像元内随机分布的树冠

Fig.6 Crowns scattered randomly in one pixel

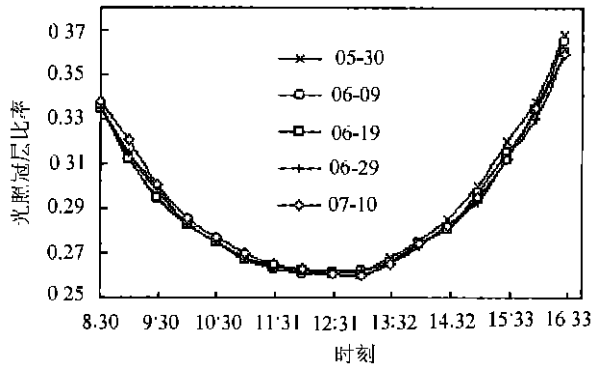


图 7 5 个观测时刻树冠光照所占的分额

Fig.7 Proportions of the sunlit crown at 5 observations

2.7 观测方向的偏离对树冠热点信息的影响

为避免太阳风的影响,提高图像的信噪比, Triana 的位置并不是直接在太阳与地球的连线上的,而是有所偏移。故 Triana 得到的影像并不是正在热点的影像而是热点附近的 4 分量影像。从 Triana 轨道年际变化计算 Triana 与太阳间的夹角可知,一年内该夹角从 4.1° — 14.6° 变化,中值是 10.8° ,均值为 10.4° ,天顶角差异的中值为 6.8° ,均值为 6.6° ,方位角差异的中值为 7.3° ,均值是 7.2° 。我们以 LIM 光拦截模型模拟观测方向与太阳方向 4 种偏离方式下的光照树冠的分额,图 8 显示了模拟结果。这 4 种偏离是:(1)观测方向与太阳方向天顶角相同,但方位角小于 8° 。(2)观测方向与太阳方向天顶角相同,但方位角大于 8° ;(3)观测方向与太阳方向方位角相同,但天顶角小于 8° ;(4)观测方向与太阳方向方位角相同,但天顶角大于 8° 。从图 8 可以看出,两种方

位角条件的光照树冠分额基本一致,大天顶角时光照树冠分额明显高于小天顶角时的光照树冠分额。对比各观测方向上的光照树冠数据可知,在观测方向偏离太阳方向时,像元内光照树冠绝对值变化为 0.05,但日内光照树冠面积比随时间变化的规律基本保持一致。偏离太阳方向观测时,光照树冠的差异不可忽视。

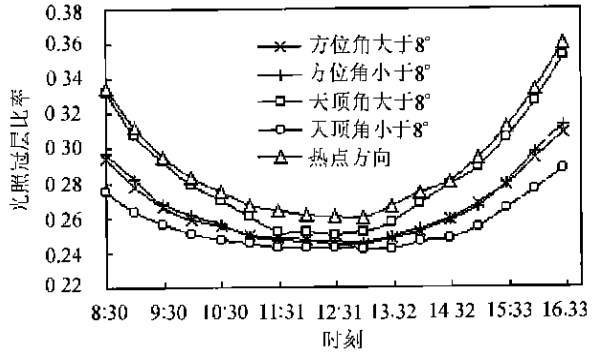


图 8 5 个观测时刻树冠光照所占的分额

Fig.8 Proportions of the sunlit crown at 5 observations

3 结论及讨论

利用早晚和正午热点观测下像元内光照树冠和光照土壤的面积比例变化,我们可以反演植被结构参数。从树冠的模拟,可知热点观测时早晨 8:30 与正午 12:00 光照树冠的差额为 0.075,偏离热点观测时该差额最大减小至 0.033,衰减了一半多,但这 0.033 仍是像元内光照树冠分额 14% 的变化量。因此,当 Triana 卫星的观测方向偏离太阳方向时,由于光照叶片面积比的变化规律在热点和偏离热点基本一致, Triana 卫星的数据具有较高的使用价值。

对于不同日期的观测,当植被处于新枝叶片发育阶段,叶片分布和叶面积指数急剧变化,遥感像元内光照叶片分额随之改变,玉米的模拟显示 Triana 卫星的数据对了解这个阶段植被变化很有帮助。一旦植株新枝和叶片的生长停止,像元内光照叶片分额也停顿下来,热点观测带来的信息减弱。显然当叶片衰落时,像元内光照树冠又会敏感地反映出这一过程, Triana 卫星将获取叶片生长状况的变化信息。

综上所述, Triana 卫星对植被遥感有着积极的意义,为我们带来全新的视野和数据,我们应当给予更多的关注。

致 谢 项月琴教授,杨华,阎广建,吴门新,张卫国和王华先生在此项工作中给予了帮助,在此谨表谢忱。

参考文献 (References)

- [1] Li X, Strahler A H. Geometric-optical Modeling of a Conifer Forest Canopy [J]. *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, 1985, GE-23: 705—721.
- [2] Liang S *et al.* Multiangle Remote Sensing: An Overview [J]. *Remote Sensing Reviews*, 2000, 18: 83—102.
- [3] Qin Wenhan, Goel N S. An Evaluation of Hotspot Models for Vegetation Canopies [J]. *Remote Sensing Reviews*, 1995, 13: 121—159.
- [4] Triana 卫星, Http://Triana.gsfc.nasa.gov
- [5] Su L H. Study on Land Surface Directional Thermal Emission and Scale Effects [D]. PhD. Dissertation in Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, 2000. [苏理宏. 地表热红外辐射方向性与尺度效应研究 [D]. 中国科学院遥感应用研究所博士论文, 2000.]
- [6] Su L H, Li X W, Wang J D. L System and 3D Landscape Graphics [J]. *Computer Applications*, 2000, 20: 1—4. [苏理宏, 李小文, 王锦地. 扩展的 L 系统与三维自然景物图形 [J]. 计算机应用, 2000, 20(2): 1—4.]
- [7] Prusinkiewicz P, Lindenmayer A. The Algorithmic Beauty of Plants [M]. Springer-Verlag New York, 1990.
- [8] Goel N S, Rozehal I, Thompson R L. A Computer Graphics Based Model for Scattering from Objects of Arbitrary Shapes in the Optical Region [J]. *Remote Sens. Environ.* 1991, 36: 73—104.
- [9] Li X, Wang J, Strahler A. Scale Effects of Planck Law over a Non-isothermal Blackbody Surface [J]. *Science in China (Series E)*, 1999, 42(6): 652—656.
- [10] M Raffy. Heterogeneity and Change of Scale in Models of Remote Sensing: Spatialization of Multi-spectral Models [J]. *INT. J. Remote Sensing*, 1994, 15(12): 2359—2380.
- [11] Xiang Yueqin, Zhou Yunhua, Cui Jingfang. Measurements of Canopy Geometry of Winter Wheat, Experimental Study of Environment of Field Crops [C]. Beijing, Meteorological Press, 1990. 92—103, Beijing, China [项月琴, 周允华, 崔景芳. 冬小麦丛群几何结构的测量 [A]. 农田作物环境试验研究 [C]. 北京: 气象出版社, 1990.]

Determination of the Vegetation Hotspot Diurnal and Seasonal Change by Real Scene Models

SU Li-hong¹, LI Xiao-wen^{1,2}, ALAN Strahler², ELENA Tsvetsinskay², WANG Jin-di

(1. Research Center for Remote Sensing and Dept. of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Dept. of Geography and Center for Remote Sensing, Boston University, MA 02215, USA)

Abstract: The vegetation hotspot dependence on its structure at various times in one day and various growth periods is investigated in this paper. We simulate the interaction of light and vegetation based on three dimensional plant canopies. Our approach consists of four processes. Firstly, the biophysical parameters, such as corn plant height, leaf base height, size of leaf, and shape of leaf, are measured on field, and the statistics of the parameters is obtained based on the measurement. Secondly, the three dimensional structure of canopy is built by the CSM (Computer Scene Model) according to the statistics under a pixel configuration, such as planting by row or by random. Thirdly, the zenith and azimuth of sun are calculated for the simulated site on earth. Fourthly, hotspots and bi-directional reflectance distribution functions are calculated by the LIM (Light Interception Model) under various sun and viewing geometric conditions. Finally we evaluate diurnal consecutive hotspot and seasonal consecutive hotspot. The characteristic and scientific objectives of hotspot satellite Triana also are introduced. The simulated result will improve our understanding about the Triana data, and help us to use the data effectively.

Key words: hotspot; remote sensing physical modeling; computer simulation; vegetation visualization