

# 植被结构及太阳 / 观测角度对 NDVI 的影响\*

覃文汉 项月琴

(中国科学院地理研究所 北京 100101)

**摘要** 在文献[1]中作者建立了计算多组分植被方向反射系数(BRF)的综合解析模型。本文采用该模型研究植被空间结构对常用的归一化植被指数(NDVI)的影响,文中讨论了NDVI与叶(或植被其它组分)角分布(LAD)、植被组分(如叶片)的特征尺度和它们在空间的散布方式,以及非叶器官面积在总面积中所占比例间的依赖关系,同时给出了NDVI随太阳/观测角度的变化情况。结果表明即使在叶面积指数(LAI)固定不变时,冠层结构及植被组分光学性质的空间非均匀性对NDVI的大小及角分布也有十分显著的影响。通常NDVI随角度的变化是很大的,如果植被不同组分的光学性质差异很大,且事先不知道它们的空间散布方式时,那么利用DNVI就无法准确地估算出LAI。但是对于组分随机分布的植被,利用远离“热点”区域的光谱资料可以使冠层其它结构参数的影响减至最小。

**关键词** 多角度遥感, BRDF模型, “热点”效应, 植被指数

## 1 引言

地物目标的多角度遥感研究,虽然只有近20年的历史,但已成为当今光学遥感中的热门领域,目前,在这个领域里,实验研究(快速获取地物的二向反射光谱资料),理论研究(建立辐射和地物相互作用的物理模型)和应用研究(模式反演,地物结构参数的估算等)是并驾齐驱的<sup>[2]</sup>。理论研究(即建立辐射和地物相互作用的物理模型)是支持多角度植被遥感技术发展的重要基础,因此,我们已经在文献[1]中通过推导出任意空间取向植被组分重叠函数的解析计算公式,完整、准确地模拟出多组分冠层的“热点”效应;以及在多次散射系数的计算中考虑了植被每一组分的作用,建立了计算多组分植被方向反射系数(BRF)的综合解析模型。同时,在该文中,我们选用小麦和大豆两种作物,利用大田实测的植被方向反射系数和相应的冠层结构和光学参数验证模型,结果表明:该模型基本上能抓住多组分植被反射光谱的角度分布特征,模拟出自然植被方向反射系数的冠层“热点”效应的非对称性分布,这是假设仅由叶片组成的叶冠层模型无法得到的。

NDVI(归一化植被指数)是目前国内外最常用的用遥感方法监测作物长势、估算植被叶面积指数、生物量和光合效率的指标<sup>[3]</sup>。虽然以往的研究表明,NDVI易受土壤背景

\*国家自然科学基金(批准号:49241004)及中国科学院院长基金(1993年)资助项目。

收稿日期:1996年3月4日;收到修改稿日期:1996年6月13日

的光谱性质及叶角分布方式的影响，但是我们的综合解析模型的计算结果表明，植被结构(包括几何结构和光学性质)的空间非均匀性对 NDVI 的影响也十分显著。下面我们将讨论采用该模型用模拟计算的方法讨论植被空间结构对归一化植被指数 NDVI 的影响，作为此模型初步应用的一个例子。

## 2 植被空间结构对 NDVI 的影响

利用给定的植被指数和多角度遥感资料估算植被生态参数，最关键的问题是如何选择最佳入射—观测角度组合，使该指数对所估算的参数最敏感而对其他参数(干扰因素)的变化不敏感。以下我们假定所要估算的参数为叶面积指数(LAI)，在模拟计算中取 LAI=3.0 (即在图 1—4 中保持 LAI=3.0 不变)，其他参数的标准值为： $l_L^*=0.1$ ， $m=0.5$ ， $\varepsilon=0.0$  (球分布)， $\lambda_L=1.0$ ， $P_c=0.0$ 。叶片的光学参数同文献[4]中表 4。这里  $l_L^* = \frac{l}{h}$  为冠层特征尺度( $h$  为冠层平均高度)， $m = \frac{w}{l}$  ( $l$  和  $w$  分别为叶片的平均长度和平均宽度)。 $\varepsilon$  为用双参数椭圆函数拟合叶角分布函数时用的一个参数<sup>[4]</sup>， $\lambda_L$  为叶片的空间散布方式， $P_c$  为非叶器官(如茎干)面积在冠层总面积中占的比例。当讨论某一参数的影响时仅变化该参数的取值，其余参数仍取其标准值。以下将讨论“热点”效应、叶角分布类型(LAD)、冠层特征尺度( $l_L^*$ )、叶片的空间散布方式( $\lambda_L$ )和非叶器官(茎干)面积占冠层总面积的比例( $P_c$ )对 NDVI 的大小及角度分布的影响。计算结果见图 1—4，图中横坐标 VZA 表示观测天顶角，大于零表示与太阳同侧( $\varphi_n=0^\circ$ )，小于零表示在太阳异侧( $\varphi_n=180^\circ$ )， $\theta_m$  为冠层叶片的平均倾角。 $\theta_0$  为入射太阳光线天顶角。

统观图 1—4 得到：“热点”效应使 NDVI 呈明显的角度变化。在“热点”区域，NDVI 最小(因为“热点”效应在红光波段比近红外波段更显著)。且太阳天顶角越小，NDVI 的角度变化就越明显。

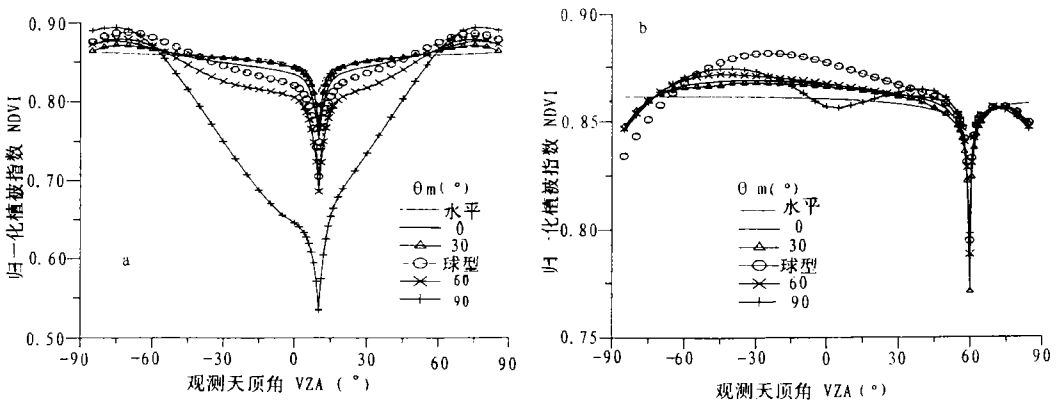


图 1 植被冠层的叶角分布类型(LAD)对主平面( $\varphi_n=0^\circ$ 或 $180^\circ$ )NDVI 的影响  
 $\varepsilon=1.0$  (水平叶),  $0.0$  (球分布),  $0.998$  (其它)。  $\theta_m$  的取值如图。 a:  $\theta_0=10^\circ$ ; b:  $\theta_0=60^\circ$ 。

Fig.1 Effect of different leaf angle distributions (LADs) on NDVI in principle plane ( $\varphi_n=0^\circ$  or  $180^\circ$ )

从图 1 得知, 叶角分布类型(LAD)的确对 NDVI 有一定影响, 特别是喜直型冠层在低太阳天顶角时(图 1a)。但是, 除喜直型冠层外, 只要观测角度远离太阳入射角 $15^\circ$ 以上, LAD 的影响就大大减小。从图 1 还可以看出: 当太阳天顶角较大时, 除“热点”区域外, LAD 对 NDVI 的影响不大。

从图 2 得知, 冠层特征尺度  $l_L^*$  (叶片平均长度与冠层高度之比) 对 NDVI 的影响主要集中在“热点”区域。太阳天顶角越小,  $l_L^*$  的影响就越大。由于“热点”效应随  $l_L^*$  的增大而增强, 故  $l_L^*$  越大, NDVI 就越小。但是通过选择太阳天顶角及远离“热点”区域的光谱资料就可以有效地避免  $l_L^*$  对 NDVI 的影响。反过来说, 选择低太阳天顶角及“热点”区域的光谱资料可望能估算出  $l_L^*$ , 因为它可望作为植被分类的一个较好的指标。

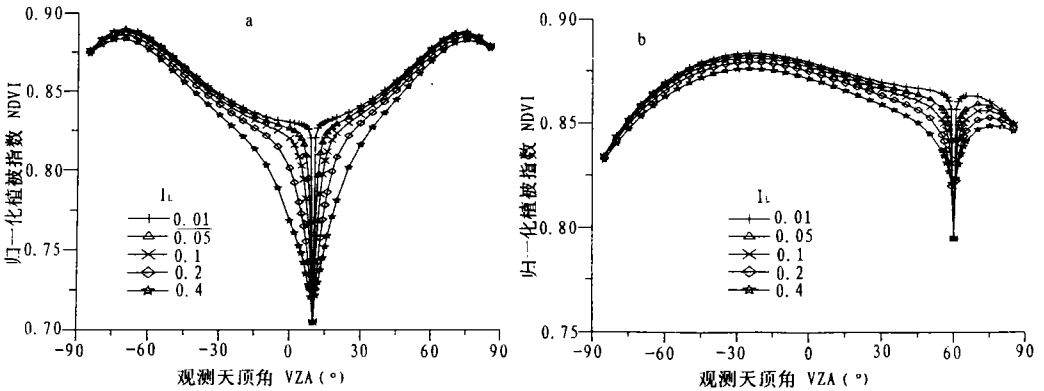


图 2 叶片特征尺度( $l_L^*$ )对主平面( $\varphi_n=0^\circ$ 或 $180^\circ$ )NDVI 的影响

a:  $\theta_0=10^\circ$ ; b:  $\theta_0=60^\circ$

Fig.2 Effect of leaf characteristic dimension ( $l_L^*$ ) on NDVI in principle plane ( $\varphi_n=0^\circ$  or  $180^\circ$ )

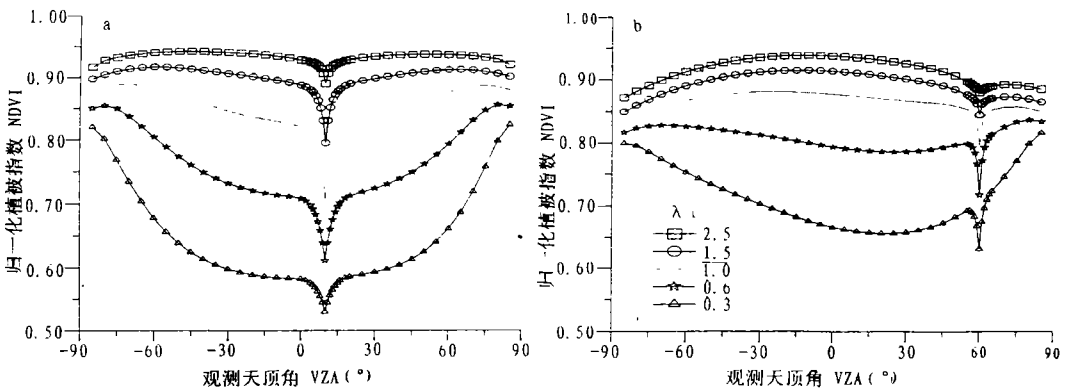


图 3 植被冠层叶片的空间分布方式( $\lambda_L$ )对主平面( $\varphi_n=0^\circ$ 或 $180^\circ$ )NDVI 的影响

a:  $\theta_0=10^\circ$ ; b:  $\theta_0=60^\circ$

Fig.3 Effect of leaf dispersion mode ( $\lambda_L$ ) in space on NDVI in principle plane ( $\varphi_n=0^\circ$  or  $180^\circ$ )

图3表明,叶片的空间散布方式( $\lambda_L$ )对NDVI分布的影响十分显著。即使LAI不变,叶片规则分布冠层( $\lambda_L > 1$ )的NDVI与丛生分布冠层( $\lambda_L < 1$ )的NDVI差异非常明显。前者随观测角度的变化较小而后者具有明显的角度变化特征。因此,对于非随机分布的植被(自然植被大都是丛生分布而人工栽培植物以规则分布为主),在未知其空间分布方式情况下,无论选择何种入射—观测角度组合,都无法利用NDVI准确地估算出冠层的叶面积指数。

最后,从图4得知,对于多组分植被,由于茎干的光学性质与叶片差异较大,在后向散射区(即 $\varphi_n = 0^\circ$ 区)NDVI的大小及分布明显取决于茎干面积在冠层总面积中占的比例( $P_c$ )。只要 $P_c$ 大于10%,茎干的影响就较显著。因茎干的红光反射系数高于叶片,所以 $P_c$ 越大,NDVI就越小。但在前向散射区(即 $\varphi_n = 180^\circ$ 区)NDVI受 $P_c$ 的影响较小,尤其当太阳天顶角较大时(图4b)。这说明利用此区域的观测资料可有效地避免 $P_c$ 对NDVI的影响。

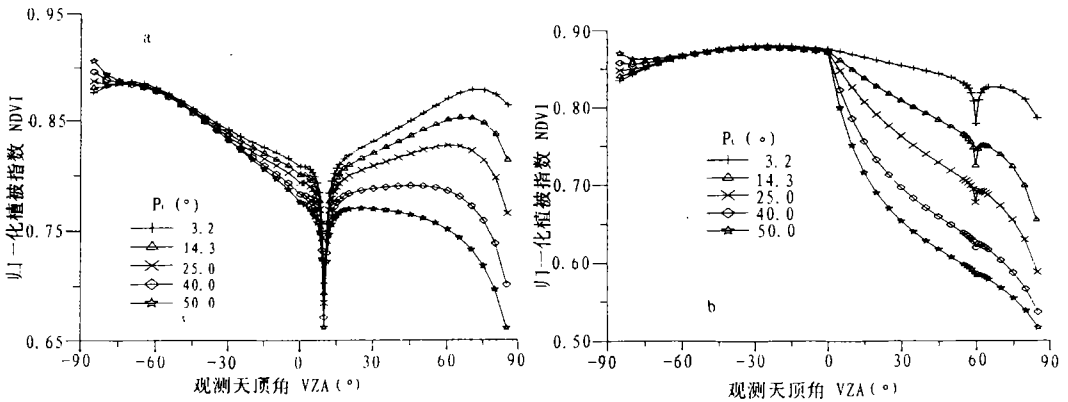


图4 植被冠层非叶器官(茎干)面积在冠层全部器官的总面积中所占比例( $P_c$ )对主平面( $\varphi_n = 0^\circ$ 或 $180^\circ$ )NDVI的影响

茎干的光学参数同文献[2]中表1。a:  $\theta_0 = 10^\circ$ ; b:  $\theta_0 = 60^\circ$ 。

Fig.4 Effect of the areal fraction of non-leaf organs ( $P_c$ ) (stem) on NDVI in principle plane ( $\varphi_n = 0^\circ$  or  $180^\circ$ )

综合以上结果可知,“热点”效应是使NDVI产生角度变化的主要原因,植被冠层叶片的空间分布方式 $\lambda_L$ 及植被冠层非叶器官(茎干等)面积在冠层全部器官面积中所占的比例( $P_c$ )是影响用NDVI估算LAI精度的两个主要的冠层结构干扰因素。因此,只有对于水平均匀的植被冠层(一是几何结构均匀,即组分在空间上随机分布;二是光学性质均匀,即不同植被组分之间的光学性质差异不大或非叶器官所占比例小于10%)或已知冠层的空间分布方式且太阳天顶角较大时,通过选择非“热点”区域光谱资料才有可能利用NDVI得到LAI较可靠的估算结果。同时也说明,只有当太阳天顶角较大时才有可能利用传统的垂直遥感资料较可靠地估算出LAI。

### 3 结 论

通过定量计算植被组分的空间取向对冠层“热点”效应的影响, 以及模型在利用遥感植被指数估算生态参数方面的应用研究, 可得出以下主要结论:

1. 虽然植被组分的空间取向及“热点”效应均对归一化植被指数 NDVI 产生一定的影响, 但他们的影响主要集中在“热点”区域。因此通过选取远离此区域的观测资料可以使其影响程度减到最小。

2. 同上述两个因素相比, 植被结构的非均匀性(包括几何结构的非均匀性, 如植被组分的非随机空间分布和光学性质的非均匀性, 如非叶器官的作用)对 NDVI 的影响就非常显著。特别是对于植被组分非随机分布的冠层, 无论选择何种入射—观测角度组合, 都无法利用 NDVI 准确地估算出冠层的叶面积指数。

3. 植被结构和“热点”效应对 NDVI 的影响还随太阳天顶角的不同而变化。通常, 太阳天顶角越大, 它们的影响就越小。因此, 为了最大程度地减小这种影响, 选择较大的太阳天顶角(大于  $40^\circ$ )及较大的入射—观测角度差(如前向散射区)下的光谱资料就显得十分必要。

同近年来出现的许多新的植被指数相比, NDVI 具有明显的局限性(如易受土壤亮度、植被几何结构和入射或观测角度的影响<sup>[5]</sup>)。如何通过这些新植被指数充分利用植被多角度反射光谱的丰富信息来估算植被生态参数, 是今后 BRDF 应用研究的主要任务之一。

### 参 考 文 献

- [1] 覃文汉, 项月琴. 多组分植被方向反射系数的解析计算模型. 中国科学(C辑), 1996, 26(6): 1—10.
- [2] 覃文汉. 遥感植被双向反射光谱的理论研究与应用展望. 环境遥感, 1992, 7(4) 290—299.
- [3] Baret, F., Guyot G., Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sens. Environ.*, 1991, 35: 161—173.
- [4] 覃文汉, Jupp, D. L. B., An analytical and computationally efficient reflectance model for leaf canopies. *Agric. Forest Meteorol.*, 1993, 66: 31—64.
- [5] Goel, N. S., 覃文汉. Influences of canopy architecture of relationships between various vegetation indices and LAI and FPAR: A computer simulation. *Remote Sensing Reviews*, 1994, 10: 309—347.

### 作者简介

覃文汉, 男, 1962年9月生, 毕业于南京气象学院农业气象系农气专业。1986年、1992年分别在中国科学院地理研究所获理学硕士及博士学位, 现为副研究员。主要研究领域为边界层气象, 微气象, 植被遥感, 地物二向性反射模拟及多角度遥感资料信息提取, 地物特征参数的遥感(反演)估算。在上述领域国内外刊物上共发表论文20余篇。

## Influence of Vegetation Structure and Sun /View Geometry on NDVI

Qin Wenhan Xiang Yueqin

(*Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101*)

**Abstract** A comprehensive, analytical model for calculating bidirectional reflectance factor (BRF) of multicomponent vegetation canopies [1] is employed to study the influence of canopy spatial structure on the commonly used normalized difference vegetation index (NDVI). The dependencies of NDVI on leaf (or other foliage elements) angle distribution (LAD), dimension of foliage elements (e.g., leaf), foliage dispersion mode and the areal fraction of non-leaf organs are discussed, and the variation of NDVI with solar /viewing zenith is examined. The result shows that the spatial inhomogeneity of canopy architecture and the optical properties of foliage elements significantly affect the magnitude and angular distribution of NDVI for canopies even with a fixed leaf area index (LAI). Usually, the angular variation of NDVI is pronounced. And it is unlikely to correctly estimate LAI through NDVI without a prior knowledge of the spatial dispersion mode of foliage elements or if the optical properties of different foliage elements much differ. But for a canopy consisting of randomly dispersed foliage elements, effects of other architectural parameters of canopy on LAI estimation can be minimized by using spectral data far away from the hotspot direction.

**Key words** Multi-angle remote sensing, BRDF model, Hotspot effect, NDVI