

遥感植被盖度研究

顾祝军,曾志远
(南京师范大学地理科学学院,南京 210097)

摘要: 简述了植被盖度研究中提出的几种概念,介绍了地表实测植被盖度的几种方法,比较和分析了遥感图像解译植被盖度的植被指数法、亚像元分解法、混合光谱模型法和光谱梯度差法,对以后的研究方向作了一些展望。
关键词: 遥感; 植被盖度; 地表实测; 图像解译
中图分类号: X 171.1; TP 79 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2005)02-0018-04

Overview of Researches on Vegetation Coverage in Remote Sensing

GU Zhu-jun, ZENG Zhi-yuan
(School of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract: The authors made a review on some concepts of vegetation coverage proposed in research work and presented some kinds of ground measurements of vegetation coverage. The method of vegetation indices, sub-pixel model, mixed-pixel model and spectra gradient difference model in the interpreter of vegetation coverage were compared and analysed respectively. The future trend of vegetation coverage study was analyzed.
Key words: remote sensing; vegetation coverage; ground measurement; image interpreter

植被盖度是观测区域内植被垂直投影面积占地表面积的百分比,是刻画陆地表面植被数量的一个重要参数,也是指示生态系统变化的重要指标。在考察地表植被蒸腾和土壤水分蒸发损失总量、光合作用的过程时,植被盖度都是作为一个重要的控制因子而存在。植被盖度也是很多土壤侵蚀预报模型中的一个基本输入变量,其测量准确与否对土壤侵蚀预报精度影响很大。植被盖度易于观测并与土壤流失量关系密切,因此有关植被盖度的研究引起了人们的普遍关注。

1 几个植被盖度概念

1.1 潜势盖度、临界盖度和有效盖度

是表征植被水土保持功能的几个参数。郭忠升^[1]论述了这三个盖度的含义和确定方法,并指出微观上的植被建设应设法使植被群落达到有效盖度(下限)和临界盖度(上限):潜势盖度是指在自然条件下,位于某一立地条件的植物群落覆盖地表的最大程度。它既可反映植物群落的生产力,也可反映该植物群落保持水土的最大程度。临界盖度是指植物群落的水土保持作用达到最大或极限时的植被盖度。当植被盖度达到临界盖度时,土壤流失量(即自然侵蚀量)一般非常微小,远小于允许土壤侵蚀量。当植被盖度大于临界盖度时,盖度再增加,植被保持水土的功能几乎不再增加。有效盖度是

指林草地土壤流失量降低到允许流失量时的植被盖度。立地条件和植被类型不同,植被有效盖度不同。

潜势盖度可能大于有效盖度和临界盖度,然而对于典型草原荒漠、沙生植被等,其潜势盖度一般较低(除自然条件相对优越地段),此时潜势盖度有可能小于有效盖度和临界盖度。对于有效盖度和临界盖度而言,由于盖度与侵蚀模数一般为负相关关系,即随着盖度的增加,侵蚀模数下降,而达到临界盖度时土壤侵蚀量一般远小于允许土壤流失量,因此有效盖度一般小于临界盖度。

1.2 光学植被盖度

类似于各种植被指数,是表征地面植被覆盖状况的一个植被参数。1995年刘培君等提出了光学植被盖度的概念,用数理统计方法求出了有关参数,并建立了光学植被盖度的TM数据模型^[2]。光学植被盖度指观测区内实际的光学植被信息跟该区内理想的全植被覆盖时光学植被信息的比。如用TM数据的光谱亮度表达,则:

$$C_{VO} = \frac{B_4 - B_{23} - Y_{SO}}{(b_4 - b_{23})_{\max} - Y_{SO}}$$

式中: C_{VO} ——光学植被盖度; B_4 、 B_{23} ——TM四波段和二、三波段(平均)光谱亮度, $(b_4 - b_{23})_{\max}$ 为理想的全植被覆盖(无裸土面)四波段和二、三波段(平均)光谱亮度的差值(也

① 收稿日期: 2004-07-05
基金项目: 国家自然科学基金项目“SPOT 图像信息提取与土地利用/土地覆盖识别与监测研究”(编号: 40371053)资助
作者简介: 顾祝军(1970-),男,江苏南京人,硕士,主要研究方向: 遥感机理与应用、GIS。

是极大值); J_{so} ——纯土壤(裸土)的植被指数本底。

光学植被盖度不同于“植被盖度”,但又和植被盖度关系密切,一般对同种植被而言,植被盖度大,光学植被盖度也大,光学植被盖度一般小于植被盖度。^[2]

2 植被盖度确定方法

指地表实际植被覆盖度确定方法,分地表实测和遥感图像解译两个方面。

2.1 地表实测

地表实测数据为建立遥感模型提供了必要参数,也为遥感测量结果提供了精度检验,所以设计完善的地表实测方法是必要的。

地表实测的方法很多,按其原理可分为3类^[3]。第1类指目估法,它是常用的植被盖度测量方法,其优点是简单易行,但主观随意性大,目估精度与测量人的经验密切相关。如果在植物生长季节内进行植被覆盖动态监测,目估植被盖度的人为差异甚至可能大于植被盖度本身的变化,给植被覆盖变化的动态分析带来很大困难。第2类方法有正方形视点框架法^[4]、阴影法(meter—stick)^[5]、点测法^[6]和网格法^[7,8]等,其特点是对选定的地块、按一定方法等距不连续采样,其中出现植被的样数占总样数的比值即为植被盖度,该类方法只针对一定的植被类型或要求在一定时间进行段目测量,其具体应用仍然存在一定局限性。第3类方法有空间定量计法SQS(spatial quantum sensor)、移动光量计法TQS(traversing quantum sell)和照相法等^[5],其原理都是利用传感器测量光通过植被层的状况计算覆盖度,其中SQS和TQS方法都要求有专用的传感器设备,在野外操作起来也不是很方便。

传统照相法是垂直照相后解译出植被类型,最后在透明方格纸上以植被覆盖占的方格数与总方格数之比来计算植被盖度,资料的处理计算比较烦琐费时。数字图像处理技术及摄影技术的快速发展,使得利用照相方法测量植被覆盖度有可能成为一种方便快捷、适用范围广的方法。

此外,为克服地表实测周期较长,工作量大的不足,吴素业根据实验区实测资料建立了植被盖度地表实测简化数学模型,研究结果表明这一方法具有简化测试过程、提高工作效率与测试精度的效应,详见文献[9]。

2.2 遥感图像解译

植被盖度具有显著的时空分异特性,地表实测的方法不仅费时费力,而且对大尺度研究来说,这种方法既不现实,也不可能。地表实测数据同样依赖于遥感数据将其监测的散点的植被盖度的结果通过模型外推到大尺度上,遥感图像解译植被盖度无疑在大范围的植被盖度监测中发挥首要作用,已成为当前建立全球及区域气候、生态模型的基础工作之一。

2.2.1 植被指数法

基于植被指数与植被盖度关系模型求解植被盖度是传统的植被盖度遥感分析方法。常用于建立模型测量植被盖度的遥感植被指数有:NDVI、ARVI、ASVI、GEMI、SAVI、

MSAVI和TSAVI,每种指数有其适用的范围。在不同的空间尺度上,常用不同空间分辨率的遥感数据反演植被盖度,如低空间分辨率的NOAA/AVHRR、MODIS,中空间分辨率的TM、MSS、SPOT,高空间分辨率的航片、IKONOS等。如Purevdor等^[10]以地面模拟的NOAA/AVHRR数据为资料,运用经验模型法估测了蒙古及日本草原区的植被盖度(f_g),得到了如下的经验关系模型:

$$f_g = -4.337 - 3.733NDVI + 161.968NDVI^2$$

$$f_g = -22.634 + 180.38SAVI - 15.928SAVI^2$$

$$f_g = 1.062 + 43.544TSAVI + 97.817TSAVI^2$$

$$f_g = -19.721 + 189.537MSAVI - 42MSAVI^2$$

研究结果表明上述这些模型适用于估测干旱和半干旱地区草地的植被盖度,并且通过在植被盖度和植被指数之间建立二次多项式关系,可以实现用AVHRR数据较准确地估测草地植被盖度。如果可以得到土壤线的特征值,用TSAVI得到的植被盖度最精确。如果土壤线的特征值无法得到,草地覆盖的密度变化又较大时,NDVI提供的植被盖度信息较准确。SAVI则适宜用来估测稀疏草地的植被盖度。Eastwood等^[11]运用不同的植被指数估测盐沼地带的植被盖度,在植被盖度与不同的植被指数之间建立一元线性关系。研究结果表明MSAVI和GEMI更适宜于盐沼植被盖度的估测。

众所周知,关系模型只适用于特定地区的特定时间,因此其应用局限性较大。基于此,1992年张仁华提出的植被指数与植被盖度模型应用更加普遍^[12]:

$$C = (NDVI - NDVI_s) / (NDVI_v - NDVI_s)$$

式中:NDVI_v、NDVI_s——纯植被与纯土壤的植被指数;NDVI——被求地块或像元点的植被指数。该模型的关键是NDVI_v和NDVI_s的确定,它们决定了模型的准确性。

2.2.2 亚像元分解法

亚像元分解法是近些年被日益广泛使用的方法。亚像元分解法可看作是在植被指数法基础上所做的改进。Gutman^[13]提出的利用亚像元分解求取植被盖度的方法比较具有代表性。他根据不同亚像元的植被分布特征,将亚像元分为均一亚像元和混合亚像元,而混合亚像元又进一步分为高密度、低密度和混合密度亚像元。针对不同的亚像元结构,分别建立不同的植被盖度模型(表1)。

由于植被盖度估算的亚像元模型是在若干假设和近似下基于植被指数建立起来的,而植被指数与植被盖度、叶面积指数之间又存在着较为复杂的关系,因此,利用亚像元分解法获得高精度的植被盖度是不现实的。

2.2.3 混合光谱模型法

目前,利用线性混合理论对混合光谱进行应用和解释是较为普遍的方法。文献[15]对线性混合理论做了很好的论述,其主要思想如下:

在线性混合模型中,第*i*波段像元反射值 r_i 可以表示为:

表 1: 植被亚像元模型^[11, 14]

像元类型	植被的亚像元结构	图示	定义	植被盖度模型
均匀像元	全覆盖		指像元完全被一定厚度的植被覆盖	$f_g = 1$
混合像元	高密度		像元中植被类型较为单一且垂直密度足够高	$f_g = (NDVI - NDVI_s) / (NDVI_v - NDVI_s)$
	低密度		像元中植被类型较为单一且垂直密度较小	$f_g = (NDVI - NDVI_s) / (NDVI_v - NDVI_s)$
	混合密度		像元中植被含有多种类型, 并且它们的垂直密度多种多样	$\sum f_g = \sum (NDVI - NDVI_s) / (NDVI_{g_i} - NDVI_s)$

注: f_g 代表植被盖度, $NDVI_0$ 和 $NDVI$ 对应于裸土 ($LAI=0$) 和高垂直密度植被 ($LAI>0$) 的 $NDVI$ 值。归一化差分植被指数。

$$Y_i = \sum_{j=1}^n (\alpha_{ij} x_j) + e_i$$

式中: $i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n$; α_{ij} ——第 i 波段该像元第 j 端元组分反射值; x_j ——该像元第 j 端元组分的丰度; e_i ——第 i 光谱波段误差项; m ——光谱波段数; n ——像元内端元组分数目。

由于像元内端元组分丰度总和为 1, 即:

$$\sum_{j=1}^n x_j = 1$$

且 $0 \leq x_j < 1$

基于此, 遥感学家们提出了线性光谱模型计算的植被盖度, 文献[12]提出的模型为:

$$C = 1 - \frac{\eta_2 (R_g R_{vr} - R_r R_{vg})}{(\eta_1 R_{vr} - R_{vg})}$$

式中: $\eta_1 = R_{sg}/R_{sr}$, $\eta_2 = R_{sir}/R_{sr}$; R_g, R_r 分别是混合像元在绿波段和红波段的反射率; R_{vg}, R_{vr} 分别是纯植被在绿波段和红波段的反射率; R_{sg}, R_{sr} 和 R_{sir} 分别是纯土壤绿波段和红波段和近红外波段的反射率。该模型的主要缺点是输入参数较多, 确定 η_1 和 η_2 值较烦琐, 根据一些试验数据, 该模型往往高估植被盖度, 误差较大。

上述模型只考虑植被和土壤两种端元组分, 是最粗略的考虑方法。若考虑到阴影效应, 则可建立多分量混合光谱模型。如文献[16]使用的模型为:

$$\rho(\lambda) = m_i \rho_{m_i}(\lambda) + m_s \rho_{m_s}(\lambda) + g_i \rho_{g_i}(\lambda) + g_s \rho_{g_s}(\lambda)$$

式中: ρ ——混合像元反射率; m_i, m_s, g_i 和 g_s ——太阳照射植被部分、阴影中植被部分、太阳照射土壤部分及阴影中土壤部分占整个像元面积比, 它们总和为 1; $\rho_{m_i}, \rho_{m_s}, \rho_{g_i}$ 和 ρ_{g_s} ——太阳照射植被部分、阴影中植被部分、太阳照射土壤部分及阴影中土壤部分各自的反射率, 此即通常所谓四分量光谱模型。虽然多分量光谱模型在理论上更加贴近现实, 但对阴影区和非阴影区的植被、土壤地面区分难度较大, 它们各自的

反射率更加难以取得, 因此, 该模型的应用有较大局限性。

总体来说, 植被盖度混合光谱模型都需要纯土壤和纯植被的反射率, 在遥感图像上确定纯土壤和纯植被的位置并进而获得其反射率是比较复杂的, 因此应用有一定难度。

2.2.4 光谱梯度差法

很多遥感学者分析了基于植被的光谱曲线提取植被信息的方法。文献[17]详细分析了典型植被光谱曲线的 8 个特征点: 404 nm、525 nm、556 nm、573 nm、671 nm、723 nm、758 nm、900 nm, 并提出植被光谱特征提取模型 VSFEM, 强调研究对象的生物物理特性在光谱上的体现。与此类似, 文献[18]提出了一种基于三波段梯度的植被盖度计算方法:

$$A = \frac{\left[\frac{R_{ir} - R_r}{\lambda_r - \lambda_v} - \frac{R_r - R_g}{\lambda_v - \lambda_g} \right]}{\left[\frac{(R_{v,ir} - R_{v,r})}{\lambda_r - \lambda_v} - \frac{(R_{v,r} - R_{v,g})}{\lambda_v - \lambda_g} \right]}$$

式中: A ——植被盖度; R_r, R_v, R_g ——研究区或像元近红外、红、绿波段的反射率; $\lambda_r, \lambda_v, \lambda_g$ ——近红外、红、绿波段的波长, 下脚 v 代表植被。

该模型假设在绿、红、近红外波段图像上, 植被土壤面积比不随波段变化而变化(实际上一些通用的植被指数一定程度上都隐含了该假设), 并假定在所选定波段, 土壤光谱随波长呈线性变化(基本为大多数土壤反射光谱曲线所证实), 在应用中, 只需知道全植被覆盖时的光谱即可确定植被盖度, 经实验验证较传统方法有较高的精度, 具有一定的发展前景。

显然, 上述所有模型均未考虑角度特征对植被盖度的影响。植被二向反射特性对多角度植被光谱的影响, 是一个不容忽视的因素, 如何建立有效的数学模型, 估算方向植被盖度(方向覆盖率), 有待进一步研究。

2.3 遥感图像处理与地面实测相结合^[19, 20]

通过遥感图像目视解译(航空相片或卫星图像), 数字图像分类(卫星图像), 或动态彩合成图像分析、计算(卫星图像), 确定一个特定地区(研究区或行政区)的平均覆盖度 V_c (一个值)。

将某个地区的某一卫星图像(例如 TM 图像)作为参考或标准图像, 在此图像和地区范围内, 选定具有各种不同植被覆盖度的地块(一个或几个像元大小)系列, 通过地面实测确定各地块的植被覆盖度 V_c , 计算图像上各地块的植被指数 V_i , 用回归方法建立植被盖度与植被指数的定量关系。此关系是一非线性方程。可表达为 $V_c = a + bV_i + cV_i^2$ 或其它形式。

对于任一研究区和该区使用的任一时期的图像, 可在该区该图像上找出(目视解译和分类)清而深的水体、最密的植被、干燥的裸地三个代表性的特殊地物, 分别算出它们的植被指数 V_{i1} ; 在参考图像或标准图像上, 也找出该区清而深的水体、最密的植被、干燥的裸地三个代表性的特殊地物, 也分别算出它们的植被指数 V_i ; 用回归方法, 建立 V_i 和 V_{i1} 的定量关系。此关系是一线性关系, 即 $V_i = a + bV_{i1}$ 。于是, 即可得到 $V_c = f(V_{i1})$ 。此方程也是非线性方程, 亦可表示为 $V_c = a +$

$bV_{ii}+cV_{ii}^2$ 的形式。

这样即可估算出任一研究区的植被覆盖度,而且是任一像元的植被覆盖度。

如需对图像进行大气效应校正,以便更准确地计算植被指数和植被覆盖度,实现动态监测,可用已确定的研究区平均植被覆盖度数值 V_c 和上述各种关系的定量方程,进行模拟计算,推演大气校正参数,从而实现对多年份的图像进行大气影响校正,进而实现多年份的植被和土壤侵蚀的动态监测。

3 研究展望

近年来,数码相机、高光谱遥感以及多角度遥感在植被盖度研究中的应用越来越受到人们的重视。

利用数码相机测量植被盖度是近年来逐渐被人们所认可的一种新方法。数码相机的方法与其它地表实测方法相比,测量精度最高,尤其当测量区域的植被盖度较低时,数码相机参考文献:

[1] 郭忠升. 水土保持植被建设中的三个盖度: 潜势盖度、临界盖度和有效盖度[J]. 中国水土保持, 2000, (4): 30– 31.

[2] 刘培君, 张琳, 等. 用 T M 数据估测光学植被盖度的方法[J]. 遥感技术与应用, 1995, 10(4): 9– 14.

[3] 章文波, 刘宝元, 等. 小区植被覆盖度动态快速测量方法研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21(6): 60– 63.

[4] 拉尔 R. 土壤侵蚀研究方法[M]. 北京: 科学出版社, 1991. 157– 170.

[5] Adams J E, Arkin G F. A lightin terception method for measuring rowcrop ground cover[J]. Soil Science Society of America Journal, 1977, 41(4): 789– 792.

[6] 张光辉, 梁一民. 黄土丘陵人工草地径流起始时间研究[J]. 水土保持学报, 1995, 9(3): 78– 83.

[7] 卜兆宏, 赵宏夫, 刘绍清, 等. 用于土壤流失量遥感监测的植被因子算式的初步研究[J]. 遥感技术与应用, 1993, 8(4): 16– 22.

[8] 罗伟祥, 白立强, 宋西德, 等. 不同覆盖度林地和草地的径流量与冲刷量[J]. 水土保持学报, 1990, 4(1): 30– 34.

[9] 吴素业. 植被覆盖度的简化测试方法[J]. 中国水土保持, 1997, (5): 33– 35.

[10] Purevdor J T S, Tateishi R, Ishiyama T, et al. Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(18): 3 519– 3 535.

[11] Eastwood J A, Yates M G, Thomson A G, et al. The reliability of vegetation indices for monitoring saltmarsh vegetation cover[J]. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18(18): 3 901– 3 907.

[12] 张仁华. 试验遥感模型及地面基础 [M]. 北京: 科学出版社, 1996.

[13] Gutman G Ignalov A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(8): 1 533– 1 543.

[14] Chen Jin , chen Yunhao, He Chunyang, et al. Sub-ixel model for vegelation fraction estimation based on land cover classification[J]. Journal of Remote Sensing, 2001, 5(6): 416– 422.

[15] 马超飞, 马建义, 布和敖斯尔. USLE 模型中植被覆盖因子的遥感数据定量估算[J]. 水土保持通报, 2001, 21(4): 6– 9.

[16] Michael F Jasinski. Estimation of subpixel vegetation density of natural regions using satellite multispectral imagery [J]. IEEE T rans. Geosci, Remote Sensing, 1996, 34(3): 804– 813.

[17] 谭倩, 赵永超, 童庆禧, 等. 植被光谱维特征提取模型[J]. 遥感信息, 2001, (1): 14– 18.

[18] 唐世浩, 朱启疆, 周宇宇, 等. 一种简单的估算植被覆盖度和恢复背景信息的方法[J]. 中国图像图形学报, 2003, 8(11): 1 304– 1 309.

[19] Zeng, Z Y. Fully Automatic Mapping for Vegetation and Soil Erosion Monitoring Using Remote Sensing, , Mathematic Modeling and GIS techniques[A]. Proceedings of the 20th International Cartographic Conference[C]. Beijing, 2001. 702 – 709.

[20] 曾志远. 卫星遥感图像计算机分类及地学应用研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004. 322– 326.

[21] 张云霞, 李小兵, 陈云浩. 草地植被盖度的多尺度遥感与实地测量方法综述[J]. 地球科学进展, 2003, 18(1): 85– 93.

相机的优势更明显。利用数码相机的近红外信息可以很容易地辨别出土壤和植被。如果研究区位于干旱、半干旱环境,利用从多光谱影像提取的植被指数定量监测这些地区植被的生长状况和数量一直都受到质疑,因为这些地方的植被较稀疏,地表光谱反射率主要来自地表土壤,并且传感器的反射率可能被大气散射强烈影响。利用高光谱遥感导数光谱技术能进一步消除上述因素的影响,直接反映植被叶面积指数、叶绿素含量等信息。研究证明,用高光谱数据的线性混合模型得到的结果比用标准植被指数得出的结果更合理。^[21]

具有角度特性的植被方向盖度逐渐成为新的研究生长点。方向盖度(或叫方向覆盖率)就是指因观测角和太阳高度角变化而变化的覆盖率。随着多角度遥感卫星的升空(如欧洲空间局 1995 年 4 月发射的具有沿轨扫描特点的 ATSR 新一代极轨卫星),获取多角度遥感数据已非难事,这些都为进一步研究提供了很好的条件。