

植被覆盖度及其测算方法研究进展^{*}

秦 伟, 朱清科, 张学霞, 李文华, 方 斌

(北京林业大学 水土保持学院 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

[摘 要] 植被是陆地生态系统的主要组份, 是生态系统变化的指示器。植被覆盖度作为植被生长状况的直观量化指标, 在水文、气象、生态等方面的区域或全球性问题研究中起着越来越重要的作用, 植被覆盖度的测算是否精准很大程度上影响着相关研究结论是否科学合理。本文综述了植被覆盖度在自然地理研究中的应用情况, 分类归纳了植被覆盖度的测算方法, 并分析了各种方法的特点、优势及其存在的问题, 同时指出了植被覆盖度测算方法今后的发展趋势和研究重点。

[关键词] 植被覆盖度; 测算方法; 摄影测量; 遥感; 植被指数

[中图分类号] S771

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)09-0163-08

植被是重要的自然资源, 是陆地生态系统的主要组分, 其根系深入土壤, 枝叶接触空气, 特有的蒸腾和光合作用使土壤、大气、水分等自然地理要素相互联系、相互作用, 实现了陆地生态系统的物质能量交换和生物化学循环。植被的类型、数量和质量变化深刻影响陆地生态系统; 相反, 陆地生态系统的任何变化必然在植被类型、数量或质量方面有所响应。植被覆盖度作为植被的直观量化指标, 很大程度上反映了植被的基本情况, 是研究水文、气象、生态等方面区域或全球性问题的基础数据, 在各类相关理论和模型中普遍使用, 因此建立快速、精准的植被覆盖度测算方法对植被及相关领域的研究具有十分重要的意义。

植被覆盖度测算方法的发展大致经历了简单目测估算、仪器测量计算和遥感解译分析3个阶段。根据测算原理的不同, 植被覆盖度的测算方法可分为样本统计测算和整体直接测算两大类。其中, 样本统计测算包括目测估算法、概率计算法、仪器测量法; 整体直接测算包括经验模型法和遥感测量法。本文对植被覆盖度的具体应用及其测算方法进行了综述, 通过分析各种测算方法的特点、优势和不足, 指出今后的研究方向及重点, 以期建立精准、快速的植被覆盖度测算方法, 促进社会、生态各项相关研究

提供一定的参考。

1 植被覆盖度的定义与研究意义

植被覆盖度指包括乔、灌、草和农作物在内所有植被的冠层、枝叶在生长区域地面的垂直投影面积占研究统计区域面积的百分比, 具有以下两个特点:

(1) 测算植被覆盖度必须将植被地上部分对植被生长区域的地面进行垂直投影。如在山坡上测算植被覆盖度时, 要求将植被对坡面垂直投影, 而不是铅垂投影;

(2) 同样面积的植被, 对不同的研究范围而言, 会有不同的覆盖度。如一个流域内一定面积的森林, 研究区为整个流域计算的植被覆盖度通常小于研究区为整个林区计算的植被覆盖度。

植被依据生态系统中水、热、气等状况, 调控其内部与外部的物质、能量交换^[1], 植被覆盖度的变化是地球内部作用(土壤母质、土壤类型等)与外部作用(气温、降水等)的综合结果^[2], 是区域生态系统环境变化的重要指示。全球变化与陆地生态系统响应(GCTE)是当前全球变化研究的重要内容, 而有关地表植被覆盖与环境演变关系的研究是其中最复杂和最具活力的研究内容^[3]。

植被覆盖度是反映植被基本情况的客观指标,

^{*} [收稿日期] 2006-03-09

[基金项目] 国际泥沙研究培训中心吴旗县生态建设综合效益评价横向课题(2005-01-09)

[作者简介] 秦 伟(1982-), 男, 陕西南郑人, 在读硕士, 主要从事水土保持、地理信息系统及遥感研究。E-mail: qinwei_office@sina.com

[通讯作者] 朱清科(1956-), 男, 宁夏固原人, 教授, 博士生导师, 主要从事农林复合、水土保持及林业生态工程研究。E-mail: xiangmb@bjfu.edu.cn

在许多研究中常将其作为基本的参数或因子。植被覆盖度及其精准测算研究主要具有以下重要意义:

(1)作为科学研究必要的基础数据,为生态、水保、土壤、水利、植物等领域的定量研究提供基础数据,确保相关研究结果、模型理论更加科学可信;(2)作为生态系统变化的重要标志,为区域或全球性地表覆盖变化、景观分异等前沿问题的研究提供指示作用,促进自然环境研究不断深入发展。

2 植被覆盖度研究的应用

根据植被在生态系统中的作用和植被与各种自然地理要素的相互关系,目前,植被覆盖度的应用主要集中在自然地理空间的土壤圈、大气圈、水圈、生物圈范围及这些圈层相互作用的各类研究中(表1)。

表1 植被覆盖度的应用

Table 1 Application of vegetation covering

应用自然地理范围 A rea of physical geography	作用自然地理要素 Basic of physical geography	具体应用 Material application
土壤圈 Pedosphere	地表土壤 深层土壤 Surface soil, under-ground soil	植被覆盖度与侵蚀模数关系 ^[4] ; 植被覆盖度与土壤入渗关系 ^[5] ; 植被覆盖度与地表土壤含水量关系 ^[6] ; 植被覆盖度在土地覆盖变化监测中的应用 ^[7] ; 植被覆盖度与土壤养分流失关系 ^[8] ; 植被覆盖度是影响水土流失的重要因子 ^[9-11] ; 植被覆盖度是评价土地退化的重要指标 ^[12] ; 植被覆盖度是研究土地盐渍化和荒漠化的重要参数 ^[13-14] The relation between vegetation coverage and soil erosion modulus ^[4] ; the relation between vegetation coverage and soil permeability ^[5] ; the relation between vegetation coverage and soil water content ^[6] ; the application of vegetation coverage in monitoring of land cover change ^[7] ; the relation between vegetation coverage and soil nutrient loss ^[8] ; vegetation coverage is important influential factor of soil erosion ^[9-11] ; vegetation coverage is important index of evaluating land degradation ^[12] ; vegetation coverage is important parameter of researching land salinization and desertification ^[13-14]
大气圈 Atmosphere	温度、湿度、日照、风 Temperature, humidity, sunlight, wind	植被覆盖度与土壤湿度、地表温度的关系 ^[15] ; 植被覆盖度与气候变化关系 ^[16] ; 植被覆盖度与地表湿度关系; 植被覆盖度对城市气候影响 ^[17] ; 植被覆盖度是许多气候模型的重要参数 ^[18] ; 植被覆盖度是大气污染研究重要指示参数 ^[19] The relation between vegetation coverage and soil moisture and surface temperature ^[15] ; the relation between vegetation coverage and climatic change ^[16] ; the relation between vegetation coverage and surface moisture ^[17] ; the influence of vegetation coverage to city climate ^[17] ; vegetation coverage is important parameter of many climatic model ^[18] ; vegetation coverage is important indicated parameter of research of air pollution ^[19]
水圈 Hydrosphere	径流、降雨、地下水、土壤水 Runoff, rainfall, ground-water, soil water	植被覆盖度与地表径流量、坡面冲蚀量关系 ^[20] ; 植被覆盖度与蒸发散关系 ^[21-22] ; 植被覆盖度的时间动态和空间分布与能量和水分流动的关系 ^[23] ; 植被覆盖度是许多水文模型的重要参数 ^[24] The relation between vegetation coverage and surface runoff and slope surface erosion ^[20] ; the relation between vegetation coverage and evapotranspiration ^[21-22] ; the relation between vegetation coverage change in time and space and water fluxion ^[23] ; vegetation coverage is important parameter of many hydrological model ^[24]
生物圈 Biosphere	动物、植物、微生物 Animal, vegetation, animalcule	植被覆盖度是研究植被蒸腾和光合作用的控制因子 ^[14] ; 植被覆盖度是植被产量模型的重要参数 ^[25] ; 植被是影响土壤微生物和生物相的重要因素 ^[26] Vegetation coverage is dominating influential factor of vegetation transpiration ^[14] ; vegetation coverage is important parameter of vegetation yield model ^[26]

3 植被覆盖度测算方法及其研究现状

3.1 样本统计测算

样本统计测算按照统计学要求,在研究区内抽取一定数量的样本(样地)区域,通过测算样本(样地)区域的植被覆盖度,利用部分推算总体的统计学原理,估算整个研究区域的植被覆盖度。样本统计测

算属于地面测量,曾经是植被覆盖度测算的主要手段,在应用中具有以下特点:

(1)测量精度相对较高。样本统计测算是对研究区的植被进行实地测算,较遥感等测量手段精度高,通常作为遥感测量和经验模型基准数据来源。

(2)测量范围相对较小。样本统计测算基于抽样调查的统计学原理,对于大范围的植被调查可能产

生较大误差;同时大范围植被调查要求样本数较多, 从而造成野外工作量较大。

3.1.1 目测估算法 目测估算法采用肉眼并凭借经验直接判别或利用相片、网格等参照物来估计植被覆盖度。根据判别时参照方式不同, 该方法有以下几种具体形式:

(1) 直接目估法。该方法根据统计学要求, 在研究区选定一定数量和面积的样本(样地), 凭借经验直接估计出样本(样地)内的植被覆盖度。

(2) 相片目估法。该方法对样本(样地)内的植被垂直拍照, 再对照片进行目视估测。为了提高估测的精度, 常借助一定标准的覆盖度参照图进行多人判读, 取平均值。

(3) 网格目测法。该方法是直接目估法的改进, 即依据植被群落的类型将样本(样地)划分为一定数量面积相等的样方, 再对样方逐一进行直接目视估测, 取平均值。有研究^[14, 27]表明, 网格目测法较直接目估法更易操作且精度更高。

(4) 椭圆目估法。该方法根据植被覆盖度的定义, 使用椭圆估算样本(样地)内每株植物的覆盖面积, 将所有植物的覆盖面积之和占样本(样地)面积的百分比作为样本(样地)区域的植被覆盖度^[28]。由于该方法要求对样本(样地)内所有植物的覆盖面积进行估算, 故工作量较大, 通常只适用于植被稀疏且植被形状近似椭圆的草地^[29]。

(5) 对角线测量法。该方法是直接目估法的改进, 即在样本(样地)内以对角线上的植物作为调查对象, 分别估测两条对角线上植被的覆盖度(重叠部分只算1次), 按算术平均计算样地的总覆盖度^[30]。

目测估算法简单易行, 我国过去许多历史资料中的植被覆盖度均是用该方法获得的。但目测估算法主观随意性大, 精度与测量者的经验密切相关。章文波等^[31]对目测估算的精度研究结果表明, 个人目测估算植被覆盖度的最大绝对误差可达40%。

3.1.2 概率算法 概率算法是将借助一定测量工具和手段获得的研究区(样地)内植被出现的概率, 视为该研究区域(样地)的植被覆盖度的一种方法, 具体可分为以下几种:

(1) 点测法。该方法是在样本(样地)内使用一定数量的尖锐长针由植被(草冠)上层垂直放下, 记录接触到植物枝叶的针数, 并重复进行多次, 求取平均值作为样本(样地)内的植被覆盖度^[32]。由于测量工具的限制, 此法只适用于草地的植被覆盖度测算。

(2) 阴影法。此法也称为尺测法, 是在地面上平

行于作物行距的方向上, 放置标注刻度的直尺, 每隔一定距离向前移动, 分别读取直尺上植被阴影的长度, 将植被阴影总长度占直尺总长的百分比作为植被覆盖度^[33]。由于测量工具的限制, 此法仅适用于行栽的植被类型, 此外受测量时天气情况限制, 还需在正午太阳直射时测量^[33]。

(3) 样带长度测算法。该方法是在植被研究区内选定两个垂直交叉的矩形样带, 将植株接触样带的长度占样带总长的百分比作为样带所在区域的植被覆盖度^[34]。当用于森林郁闭度测算时, 该方法以样地两条对角线上的林木作为调查对象, 采用一步一抬头的办法, 将能看见林冠的抬头次数占抬头总次数的百分比作为林地郁闭度。

(4) 正方形视点框架法。早期的正方形视点框架由两根上下对齐、并等距钻十个孔的水平杆构成, 观测者从上端水平杆的小孔向下看, 以观查到植被的小孔数占总孔数的百分比作为植被覆盖度。该方法观测的误差可达10%。在植被覆盖均一的条件下, 若要达到2%的精度, 需1 000个视点(小孔); 在植被覆盖变化的情况下, 要到达5%的精度, 需要300个视点(小孔)。现在对正方形视点框架进行了改进, 不仅排除一些光偏移和潜在的误差, 还可以测量玉米等高秆植物^[35]。

相对目测估算法而言, 概率算法的测量限制条件有所增加, 但测算更加科学, 精度大大提高。

3.1.3 仪器测量法 随着科技的进步, 很多新的测量手段被应用于植被覆盖度测算中, 出现了许多专门测量植被覆盖度的仪器, 目前主要有以下几种:

(1) 空间定量计法(spatial quantum sensor, SQS)和移动光量计法(traversing quantum sell, TQS)。SQS和TQS法均为利用传感器测量光通过植被层的状况来计算植被覆盖度, 都需要专用的传感器装置, 对设备要求较高, 野外操作不方便^[28]。

(2) 近景摄影测量法。最早的近景摄影测量法源于相片目估, 后来发展为对相片进行目视解译, 得到植被类型, 并在相片上叠加透明方格纸, 存在植被的方格总数占总方格数的百分比即为植被覆盖度。随着摄影技术的进步, 现在的近景摄影测量法利用电荷耦合器件(Charge Coupled Device, CCD)成像, 获取植被覆盖的数码照片, 并通过设定红、绿、蓝三原色(RGB)的阈值来提取照片上的植被像素点, 照片上的植被像素点数占照片总像素点数的百分比即为植被覆盖度。此法能对地表植被进行客观、准确地测量, 且操作简单、高效经济, 可通过开发程序自动进

行后期处理,从而可以快速、精准的获取植被覆盖度,为经验模型和遥感测量提供可靠的基础和检验数据。但该方法仍具有较大的改进潜力,是今后植被覆盖度地面测算方法研究的主要方向之一。

目前近景摄影测量法在植被覆盖度测算中已有一些成功的应用和发展。Zhou等^[36]利用数码相机获得植被覆盖的数码照片,并通过光谱纹理分类器自动监测草地植被覆盖度。Gitelson^[37]使用Kodak DC-40数码相机估算了美国内布拉斯加州的小麦植被覆盖度。Michael等^[15]使用农业数码相机对美国干旱生态系统植被覆盖度进行了长期监测,获得了准确有效的结果;李存军等^[38]利用数码相机获取田间小麦冠层影像,通过分析数字影像中小麦和背景特征,设计了小麦覆盖度的提取算法,并开发了一个对影像进行自动分类提取小麦覆盖度的程序包。美国Decagon公司研制开发了First Growth植被覆盖度分析仪,即专门用于冠层覆盖度研究的数码相机,可识别每个数码图像中的绿色植物组织,然后采用内置软件来计算绿色像素和整个像素的比例,进而得出样地的覆盖度^[39]。

3.2 整体直接测算

所谓整体直接测算,即通过将研究区植被生长环境要素、时空要素与植被覆盖度地面测量数据进行耦合,在一定尺度内建立植被覆盖度的经验模型,或利用遥感技术提取研究区植被光谱信息,再与植被覆盖度建立相关关系,或用对影像像元进行分解的方法计算植被覆盖度。这些方法在具体操作上有所不同,但均是针对研究区全部植被直接进行整体测算。整体直接测算中的遥感测量,是目前大范围植被覆盖度测算的主要手段,也是今后发展的主要方向之一,其在应用中具有以下特点:

(1) 适用尺度相对较大。经验模型主要适用植被生长情况较一致的研究区域,如较大面积的农作物植被覆盖度调查。遥感技术则为植被生长情况不一致条件下,大范围的覆盖度监测提供了可能。目前,虽然整体直接测算法受地面实测数据及技术条件的限制,不可能在任意大的范围内精确应用,但相对其他方法,仍是大范围植被覆盖监测的最佳选择。

(2) 工作效率较高。在进行大范围植被覆盖监测时,整体直接测算法,特别是遥感测量能在很大程度上减少工作量,缩短时间,具有高效、快速的特点。

3.2.1 经验模型法 经验模型法是在获取地面测量数据的基础上,对研究区植被生长环境要素、生长时空要素与植被覆盖度的数据进行耦合,在一定尺

度范围内建立关于植被覆盖度时空分布规律的经验模型,而后根据相关因子的数据计算植被覆盖度。

吴素业^[40]通过引用安徽省岳西县一年生农作物的实测资料,按照植被覆盖度变化规律,建立了该地区植被覆盖度随时间变化的数学模型,该模型具有一定的精度。经验模型一旦建立,能使测算过程得到简化,提高了测试精度和工作效率,但是特定的模型仅适用于特定区域,不能在其他区域直接推广。

3.2.2 遥感测量法 遥感测量法即利用遥感技术提取研究区的植被光谱信息,再将其与植被覆盖度建立相关关系,进而获得植被覆盖度的方法。目前,植被覆盖度遥感测量的分类方法很多^[7, 14, 41~44],依据对植被光谱信息与植被覆盖度所建立的关系不同,遥感测量法可大致分为统计模型法和物理模型法。

(1) 统计模型法。统计模型法是通过植被光谱信息与植被覆盖度样本数据作经验性的统计、分析,建立植被覆盖度与光谱信息间的统计关系,从而获得植被覆盖度的一种方法。统计模型法具有简单、易于计算的优点,但需要大量的实测数据,易受时间和空间条件的制约,随时间、地域、植被类型、生长季的变化而变化,对于不同植被冠层需建立不同模型。目前,已建立的统计模型有以下几种:

① 回归模型法。该方法又称经验模型法,是通过遥感数据的某一波段、波段组合或利用遥感数据计算出的植被指数与植被覆盖度进行回归,建立经验模型,并利用空间外推模型求取大范围区域的植被覆盖度^[41]。根据回归关系的不同,回归模型法有线性回归模型和非线性回归模型两种。

线性回归模型。Graetz等^[45]利用Landsat MSS第5波段与植被覆盖度的样本实测数据建立线性回归模型,估算了稀疏草地的植被覆盖度。Peter^[46]分别利用ATSR-2遥感数据中555, 670, 870和1630nm 4个波段的数据与植被覆盖度和叶面积指数建立了线性回归模型,并计算了植被覆盖度,结果发现,使用这4个波段组合的线性混合模型估算植被覆盖度的精度较单一波段的线性回归模型高。

非线性回归模型。Dymond等^[12]利用归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)与植被覆盖度建立了非线性回归模型,估算了新西兰退化草地的植被覆盖度。Boyd等^[47]通过建立非线性回归模型估算了美国太平洋西北部的针叶林覆盖度,计算结果在99%的置信度下相关性达0.56。

在一些研究中线性和非线性回归模型被同时应

用于计算植被覆盖度。如 Gitelson^[37] 利用 NDVI 和 GreenNDVI 与小麦植被覆盖度建立线形回归模型, 同时利用可见光抗大气指数 (Visibly Atmospheric Resistant Index, VARI) 与小麦植被覆盖度建立非线性回归模型, 用 2 种不同模型计算植被覆盖度, 并对计算结果进行对比, 发现利用 VARI 建立的非线性回归模型精度更高。

回归模型只适用于特定区域与特定植被, 需要空间分辨率较高的遥感数据, 不易推广, 不具普遍意义, 但在局部区域内测算结果精度较高。

②植被指数法。此法是在分析植被光谱信息特征的基础上, 选取与植被覆盖度具有良好相关关系的植被指数, 通过建立植被指数与植被覆盖度的转换关系, 进而估算植被覆盖度的一种方法。在不同的区域针对不同的植被, 植被指数法中采用的植被指数不同。

Choudhury 等^[48] 与 Gillies 等^[49] 分别使用不同的方法和数据集均得到: $F_{cover} \approx N^*$ 。式中, F_{cover} 为植被覆盖度; $N^* = (NDVI - NDVI_0) / (NDVI_s - NDVI_0)$, 其中 $NDVI_0$ 为无植被像元的 $NDVI$ 。用其估算美国太平洋西北部的针叶林覆盖度结果显示, 常用的 NDVI 并非与乔木层覆盖度相关性最好; 他还利用 NOAA AVHRR 的遥感数据, 采用两种植被指数, 估算了针叶林覆盖度, 结果发现在 99% 的置信度下相关性达 0.55。

验证后的植被指数模型可以推广到较大尺度范围, 形成比较通用的植被覆盖度计算方法, 较回归模型更具有普遍意义, 但在局部区域对植被覆盖度的估算精度有可能低于回归模型法^[29]。目前使用较广泛的 NDVI 植被指数, 主要是基于可见光和近红外这两个对植被反映最敏感的波段信息, 忽略了包括林下灌、草、背景、树冠阴影、树冠密度等诸多影响因素, 且消除土壤背景影响能力较差, 此外 NDVI 的饱和点较低, 易达到饱和^[41]。

③像元分解模型法。此法也称亚像元分解法, 即在一定假设条件下, 分解多个组分构成的像元中的遥感信息 (光谱波段或植被指数), 建立像元分解模型, 从而获得植被覆盖度。由于一般使用植被指数分解各组分的遥感信息, 因此, 像元分解法可看作是植被指数法的改进^[42]。目前像元分解模型主要有线性模型 (Linear Model)、概率模型 (Probabilistic Model)、几何光学模型 (Geometric-optical Model)、随机几何模型 (Stochastic geometric Model) 和模糊分析模型 (Fuzzy Model)^[43]。

像元分解模型法中最常用的是线性模型中的像元二分模型。Leprieur 等^[50] 利用 SPOT 数据计算了 NDVI, 并代入像元二分模型, 估算了萨赫勒 (Sahelian) 地区的植被覆盖度; Gutman 等^[51] 在像元二分模型基础上, 将像元分为均一和混合像元, 混合像元又进一步分为等密度、非密度和混合密度亚像元。对不同的亚像元结构, 分别建立了不同的植被覆盖度模型, 求取植被覆盖度; Qi 等^[23] 将 Landsat TM、SPOT 4 VEGETATION 和航片 3 种数据计算的 NDVI 代入像元二分模型, 研究了美国西南部圣佩德罗 (San Pedro) 盆地地区的植被时空动态变化认为, 即使不经过大气纠正, 像元二分模型也能可靠估算植被动态变化; Zribi 等^[52] 利用像元二分模型将雷达 ERS2/SAR 信号分解, 估算了半干旱地区的植被覆盖度。

Pech 等^[53] 利用像元分解模型法估算了澳大利亚半干旱灌木林地的植被覆盖度。Quamby^[54] 等建立了线性混合像元分解模型, 利用 AVHRR 数据估算了作物的植被覆盖度; 马超飞等^[43] 利用线性混合像元模型分解模型对逐个像元中的植被覆盖度进行了计算和提取; 陈晋等^[41] 将 TM 影像与土地覆盖分类相结合, 综合运用了等密度模型与非密度模型计算植被覆盖度。

像元分解模型法所需的全植被覆盖像元在低空间分辨率的遥感数据中很难找到, 所以此法要求空间分辨率较高的遥感数据。Huang 等^[55] 认为, 由于在森林遥感影像数据中很难找到纯光谱像元, 故该方法不适用于森林树冠覆盖度的高精度测算。

④分类决策树法。该方法是基于统计理论的非参数识别技术, 将植被光谱信息与实测植被覆盖度数据作为连续变量自动解算, 建立相关关系的方法。

Huang 等^[55] 将高分辨率正射影像的分类结果与 TM 影像叠加, 计算出逐个像元的树冠密度, 利用 70% 的样本数据作为参考样本数据建立分类决策树模型, 在 TM 影像上进行了空间外推, 并用其余 30% 的样本数据作为检验数据对外推模型结果进行了精度验证, 该方法也适用于估算乔木层的覆盖度; Hansen 等^[56] 利用一年的 MODIS 数据, 结合分类决策树法和线性回归模型法估算了连续场的森林乔木层覆盖度, 结果表明, 基于分类决策树的模型估算的覆盖度的精度较高; Goetz 等^[57] 采用高分辨率遥感影像 IKONOS 和分类决策树算法估算了乔木层覆盖度, 认为运用基于高空间分辨率遥感数据的分类决策树法, 估算乔木层覆盖度有较高的精度及诸多

优势。

⑤人工神经网络法。此法是基于模拟人脑神经系统的结构和功能建立的一种数据分析处理系统,通过特定的学习算法对植被光谱信息和实测植被覆盖度进行训练,在网络内部不断适应算法并修改权值分布,最终达到一定的精度要求,获取与实测植被覆盖度解接近的结果。

Boyd 等^[47]采用神经网络法估算了美国太平洋西北部的针叶林覆盖度,计算结果在99%的置信度下相关性达0.58。神经网络对数据没有假设条件,能容忍噪声,容易集成多源数据,通过对判别变量赋予权重提高了覆盖度的估算精度^[47]。但是,神经网络的建立存在较多的个人主观成分,即使是基于物理黑箱原理的神经网络也难以确定遥感数据与覆盖度的模型关系^[45]。

(2)物理模型。物理模型是通过研究光与植被的相互作用,建立的关于植被光谱信息与植被覆盖度物理关系的模型。目前,属于物理模型范畴植被覆盖度的遥感测算方法有以下2种。

①模型反演法。指利用植被覆盖度与植被叶面积指数(Leaf area index, LAI)间的物理或光学关系,通过从遥感影像上提取LAI,进而反演植被覆盖度的方法。根据LAI与植被覆盖度的反演关系,模型反演法可分为物理模型反演法和几何光学模型反演法2种。

物理模型反演法主要利用辐射传输模型理论,如Verhoef^[58]建立的任意倾斜叶子散射模型(SAIL Model)。几何光学模型反演法,如Scarth 等^[59]在TM影像上结合几何光学模型和波谱分离分析,研究了澳大利亚昆士兰州东南部的森林年龄和生长阶段指标,并利用采用波谱分离法获得的地面像元的几何光学模型的四分量,反演了冠层覆盖度,结果表明,模型估算的冠层覆盖度与野外实测和航空影像的解译结果较为一致。

②光谱梯度差法。此法是一种基于植被光谱曲线特征提取植被信息,利用体现植被物理特性的光谱信息获得植被覆盖度的方法。谭倩等^[60]详细分析了典型植被光谱曲线404, 525, 556, 573, 671, 723, 758, 900 nm 等8个特征点,并提取植被光谱特征建立了VSFEM 模型;唐世浩等^[61]提出了基于像元红、绿、近红外3波段梯度的植被覆盖度计算模型。

4 植被覆盖度测算研究展望

植被覆盖度是植被覆盖状况的良好指示,是地表植被覆盖与环境演变关系、土地利用/土地覆盖变化(LUCC)与陆地生态系统变化等前沿问题中的重要研究对象,在全球变化与陆地生态系统响应(GCTE)和国际地圈生物圈计划(IGBP)等研究中具有重要地位。今后应注重植被覆盖变化与环境要素变化的响应机理研究,建立植被覆盖与大气循环、水分循环、碳循环、土壤组分、温度变化的物理预报模型。作为模型的必要因子,需要探索适时、精准、多时空尺度的植被覆盖度测算。

传统的地面统计测算将不再是获取植被覆盖度的主流方法,仅作为遥感等现代测量的辅助、校检方法。利用数码成像的近景测量将成为今后样本实测数据的主要来源,是今后地面统计测量的发展趋势。研制能自动提取数码影像中的植被信息并利用样本数据自动统计推算整个研究区域植被覆盖度的测量设备,将是一项重要而具有意义的研究课题。

遥感测量已成为植被覆盖监测的主要途径,通过更好地利用高光谱分辨率和高空间分辨率的遥感数据,提高模型及反演结果的精度将是今后研究的一个重点。同时,提高激光雷达回波波形的分析能力,加强激光高度计和多角度斜视光学传感器等主动遥感的应用研究,从而突破植被垂直方向的异质性和复杂性,获取更加丰富、准确的植被垂直分层覆盖信息,也是未来重要的发展方向。

【参考文献】

- [1] Schimel D S. Terrestrial biogeochemical cycles: global estimates with remote sensing[J]. Remote Sensing of Environment, 1995, 51(1): 49-56.
- [2] 孙红雨, 王长耀, 牛 铮, 等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系——基于NOAA 时间序列数据分析[J]. 遥感学报, 1998, 2(3): 204-210.
- [3] 潘耀忠, 李晓兵, 何春阳. 中国土地覆盖综合分类研究——基于NOAA/AVHRR 和Holdridge PE[J]. 第四纪研究, 2000, 20(3): 270-281.
- [4] 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, 2004(4): 30-31.
- [5] 石生新. 高强度人工降雨入渗规律[J]. 水土保持通报, 1992, 12(2): 49-54.
- [6] Carlson T N, Gillies R R, Perry E M. A method to make use of thermal infrared temperature and NDV I measurements to infer surface soil water content and fractional vegetation cover[J]. Remote Sensing Review, 1994, 52(9): 161-173.

- [7] Purevdor J S, Tateishi R, Ishiyama T, et al Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(18): 3519-3535
- [8] 张兴昌, 刘国彬, 付会芳. 不同植被覆盖度对流域氮素径流流失的影响[J]. 环境科学, 2000, 21(6): 16-19
- [9] Wang G, Wente S, Gertner G Z, et al Improvement in mapping vegetation cover factor for the universal soil loss equation by geophysical methods with Landsat Thematic Mapping images[J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(18): 3649-3667
- [10] 詹小国, 王 平. 基于RS和GIS的三峡库区水土流失动态监测研究[J]. 长江科学院院报, 2001, 18(2): 41-44
- [11] 卢敬华, 陈 伟. 植被覆盖与土壤水分的动力学模型[J]. 成都气象学院学报, 1998, 46(3): 209-216
- [12] Dymond J R, Stephens P R, New some P F, et al Percent vegetation cover of a degrading rangeland from SPOT[J]. International Journal of Remote Sensing, 1992, 13(11): 1999-2007
- [13] 潘晓玲. 干旱区绿洲生态系统动态稳定性的初步研究[J]. 第四纪研究, 2001, 21(4): 345-351
- [14] 张云霞, 李晓斌, 陈云浩. 草地植被覆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
- [15] Cosh M H, Brutsaert W. Microscale structural aspects of vegetation density variability[J]. Journal of Hydrology, 2003, 276: 128-136
- [16] Ringrose S, Matheson W, Wolski P, et al Vegetation cover trend along the Botswana Kalahari transect[J]. Journal of Arid Environments, 2003, 54: 297-317
- [17] Owen T W, Carlson T N, Gillies R R. An assessment of satellite remotely-sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect urbanization[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(9): 1663-1681
- [18] Marticorena B, Bergametti G, Gillette D A, et al Factors controlling threshold friction velocity in semi-arid and arid areas of the United States[J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102: 23277-23287
- [19] Tommervik H, Hogda K A, Solheim I. Monitoring vegetation changes in Pasvik (Norway) and Pechenga in Kola Peninsula (Russia) using multitemporal Landsat MSS/TM data[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 85(3): 370-388
- [20] 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): 30-35
- [21] 陈云浩, 李晓斌, 史培军. 中国西北地区蒸发散量计算的遥感研究[J]. 地理学报, 2001, 56(3): 261-268
- [22] 刘树华, 黄子琛, 刘立超. 土壤—植被—大气连续体中蒸散过程的数学模型[J]. 地理学报, 1996, 51(2): 118-126
- [23] Qi J, Marsett R C, Moran M S, et al Spatial and temporal dynamics of vegetation in the San Pedro River basin area[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2000, 105: 55-68
- [24] De Roo P J, Offemans R J E, Cremers N H. L ISEM: a Single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins II: sensitivity analysis, validation and application[J]. Hydrological Processes, 1996, 10: 1119-1126
- [25] Gower S T, Kucharik C J, Norman J M. Direct and indirect estimation of leaf area index, FA PAR and net primary production of terrestrial ecosystems[J]. Remote Sensing of Environment, 1999, 70(1): 29-51
- [26] 夏北成, Zhou J Z, Tiedje J M. 土壤微生物群落及其活性与植被的关系[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 1998, 37(3): 94-98
- [27] Sutherland W J. 生态学调查方法手册[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1999
- [28] Thalen D C P. Ecology and utilisation of desert shrub rangelands in Iraq[M]. Hague: Dr W Junk BV Publishers, 1979
- [29] 李苗苗. 植被覆盖度的遥感估算方法研究[D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2004
- [30] 赵春玲, 李志刚, 吕海军, 等. 中德合作宁夏贺兰山封山育林育草项目区植被覆盖度监测[J]. 宁夏农林科技, 2000(6): 402-408
- [31] 章文波, 符素华, 刘宝元. 目估法测量植被覆盖度的精度分析[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2001, 37(3): 402-408
- [32] 查普曼 S B. 植物生态学的方法[M]. 北京: 科学出版社, 1980
- [33] Adams J E, Arkin G F. A light interception method for measuring row ground cover[J]. Soil Society of America Journal, 1997, 41(4): 789-792
- [34] Zhou Q, Robson M, Pilesjö P. On the ground estimation of vegetation cover in Australian rangelands[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(9): 1815-1820
- [35] 拉尔. 土壤侵蚀研究方法[M]. 北京: 科学出版社, 1991
- [36] Zhou Q, Robson M. Automated rangeland vegetation cover and density estimation using ground digital images and a spectral-contextual classifier[J]. Remote Sensing, 2001, 22(17): 3457-3470
- [37] Gitelson A A, Kaufman Y J, Stark R, et al Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 80(1): 76-87
- [38] 李存军, 王纪华, 刘良云, 等. 基于数字照片特征的小麦覆盖度自动提取研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2004, 30(6): 650-656
- [39] Decagon Devices Inc. digital Canopy Camera[EB/OL]. [2002-12][2005-11-02]. <http://www.decagon.com/first-grow-th>
- [40] 吴素业. 一年生植被覆盖度的简化测试方法[J]. 水土保持科技情报, 1999(1): 45-47
- [41] 陈 晋, 陈云浩, 何春阳, 等. 基于土地覆盖分类的植被覆盖率估算亚像元模型与应用[J]. 遥感学报, 2001, 5(6): 416-422
- [42] 顾祝军, 曾志远. 遥感植被覆盖度研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12(2): 18-21
- [43] 马超飞, 马建文, 布和敖斯尔. U S L E 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

- [44] 黄健熙, 吴炳方, 曾源, 等. 水平和垂直尺度乔、灌、草覆盖度遥感提取研究进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(80): 871-881.
- [45] Graetz R D, Pech R R, Davis A W. The assessment and monitoring of sparsely vegetated rangelands using calibrated Landsat data[J]. International Journal of Remote Sensing, 1988, 9(7): 1201-1222.
- [46] Peter R J. North Estimation of fAPAR, LAI, and vegetation fractional cover from ATSR-2 imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 80(1): 114-121.
- [47] Boyd D S, Foody G M, Ripple W J. Evaluation of approaches for forest cover estimation in the Pacific Northwest, USA, using remote sensing[J]. Applied Geography, 2002, 22(4): 375-392.
- [48] Choudhury B J, Ahmed N U, Idso S B, et al. Relations between evaporation coefficients and vegetation indices studied by model simulations[J]. Remote Sensing of Environment, 1994, 50(1): 1-17.
- [49] Gillies R R, Carlson T N, Gui J, et al. A verification of the 'triangle' method for obtaining surface soil water content and energy fluxes from remote measurement of Normalized difference vegetation Index (NDVI) and surface radiant temperature[J]. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18(15): 3145-3166.
- [50] Leprieux C, Verstraete M M, Pinty B. Evaluation of the performance of various vegetation indices to retrieve vegetation cover from AVHRR data[J]. Remote Sensing Review, 1994, 52(10): 265-284.
- [51] Gutan G, Ignatov 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): 1533-1543.
- [52] Zribi M, Garat M, Asclele H S, Taconet O, et al. Derivation of wild vegetation cover density in semiarid regions: ERS2/SAR evaluation[J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(6): 1335-1352.
- [53] Pech R P, Graetz R D, Davis A W. Reflectance modeling and the derivation of vegetation indices for an Australian semiarid shrub land[J]. International Journal of Remote Sensing, 1986, 7(3): 389-403.
- [54] Quamby N A, Townshend J R G, Settle J J, et al. Linear mixture modeling applied to AVHRR data for crop area estimation[J]. International Journal of Remote Sensing, 1992, 13(3): 415-425.
- [55] Huang C Q, Yang L M, Bruce W Y, et al. A Strategy for estimating tree canopy density using Landsat 7 ETM+ and high resolution images over large areas[C/OL]. Colorado: The third international conference on geospatial information in agriculture and forestry held in Denver, 2001.
- [56] Hansen M C, De Fries R S, Townshend J R G, et al. Towards an operational MODIS continuous field of percent tree cover algorithm: examples using AVHRR and MODIS data[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 83(1): 303-319.
- [57] Goetz S J, Wright R K, Smith A J, et al. IKONOS imagery for resource management: Tree cover, impervious surfaces, and riparian buffer analyses in the mid-Atlantic region[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 88(1): 195-208.
- [58] Verhoef W. Light scattering by leaf layers with application to canopy reflectance modeling, the SAIL model[J]. Remote Sensing of Environment, 1984, 16(2): 125-141.
- [59] Scarth P, Phinn S. Determining forest structural attributes using an inverted geometric-optical modeling mixed eucalypt forests, South-east Queensland, Australia[J]. Remote Sensing of Environment, 2000, 71(2): 141-157.
- [60] 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.
- [61] 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): 1304-1309.

Review of vegetation covering and its measuring and calculating method

QIN Wei, ZHU Qing-ke, ZHANG Xue-xia, LI Wen-hua, FANG Bin

(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of MOE, Beijing 100083, China)

Abstract: Vegetation is the main component of terrestrial ecosystem and the indicator of ecosystem change. As the quantity index of vegetation's growth status, vegetation covering plays an important role in the regional and global researches of several fields, such as hydrology, climate and ecology. The results of measuring and calculating vegetation covering deeply affect conclusions of related study. Based on reviewing these methods and their application fields, this paper analyses peculiarity, advantage and shortage of each method. At the same time, the paper indicates the research emphases and current henceforth of the vegetation covering.

Key words: vegetation covering; measuring and calculating method; photogrammetry; remote sensing; vegetation index