

# 植被指数及其研究进展

郭 锐

(中国气象局兰州干旱气象研究所,甘肃 兰州 730020)

**摘要:**介绍了植被的光谱特征,概述了几种常见的植被指数及其优缺点。对 MODIS 探测器监测植被的特点和美国 NASA 归一化差值植被指数(NDVI)和增强植被指数(EVI)产品特性和不足做了说明,指出了研究西北地区 MODIS 植被指数的重要意义。

**关键词:**植被指数;MODIS;西北地区;光谱特征

**中图分类号:** TP79

**文献标识码:** A

## 引言

植被在地球系统中扮演着重要的角色,植被影响地气系统的能量平衡,在气候、水文和生化循环中起着重要作用,是气候和人文因素对环境影响的敏感指标。因此,地球植被及其变化一直被各国科学家和政府所关注。卫星遥感是监测全球植被的有效手段,卫星从太空遥视地球,不受自然和社会条件的限制,迅速获取大范围观测资料,为人类提供了监测、量化和研究人类有序活动和气候变化对区域或全球植被变化影响的可能。

根据植被的光谱特性,将卫星可见光和近红外波段进行组合,形成了各种植被指数。植被指数是对地表植被状况的简单、有效和经验的度量,目前已经定义了 40 多种植被指数,广泛地应用在全球与区域土地覆盖<sup>[1~2]</sup>、植被分类和环境变化<sup>[3~4]</sup>、第一性生产力分析<sup>[5~6]</sup>、作物和牧草估产<sup>[7]</sup>、干旱监测<sup>[8~10]</sup>等方面;并已经作为全球气候模式<sup>[11]</sup>的一部分被集成到交互式生物圈模式和生产效率模式中;且被广泛地用于诸如饥荒早期警告系统等方面的陆地应用;植被指数还可以转换成叶冠生物物理学参数。

本文介绍了植被的光谱特征,对植被指数的发展和几种常见植被指数及其优缺点做了概述,对 MODIS 探测器监测植被的特点和美国 NASA 两种植被指数产品特性做了说明,提出了研究西北地区

MODIS 植被指数的重要意义。

## 1 植被指数的定义

### 1.1 植被的光谱特征

植被的光谱特征规律性非常明显,图 1 是叶子

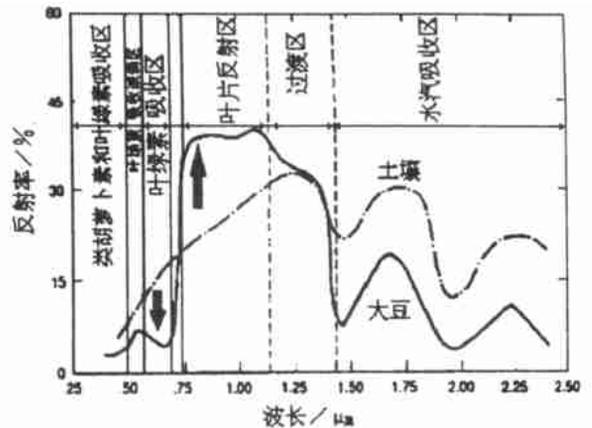


图 1 光合作用敏感的叶子和土壤的光谱反射对比  
(Tucker and Seller, 1986)

Fig. 1 The spectrum reflection comparison between leaves sensitive to photosynthesis and soil

的典型光谱曲线。在蓝色(0.47 $\mu\text{m}$ )和红色(0.67 $\mu\text{m}$ )波段,由于叶绿素和类胡萝卜素的反射,能量很低;但在绿色波段(0.55 $\mu\text{m}$ )附近,由于叶绿素对绿光的反射,形成一个小的峰值。在近红外波段,由于叶肉海绵组织结构中有许多空腔,具有很大的反射表面,而且细胞内叶绿体呈水溶胶状态,辐射能量

收稿日期:2003 - 11 - 18;改回日期:2003 - 12 - 29

基金项目:本文由国家自然科学基金项目(40375011)资助

作者简介:郭锐(1963 - ),女,广东人,副研究员,主要从事卫星遥感应用研究。

大都被散射掉,形成高反射率,表现在反射曲线上从 $0.7\mu\text{m}$ 处反射率迅速增大,至 $1.1\mu\text{m}$ 附近有一峰值,形成植被的独有特征。因此,红色和近红外波段的反差是对植物量很敏感的度量。无植被或少植被区反差最小,中等植被区反差是红色和近红外波段的变化结果,而高植被区只有近红外波段对反差有贡献,红色波段趋于饱和,不再变化。因此,将红光和近红外光谱观测通道组合得到植被指数在一定程度上反映着植被的演化信息。

## 1.2 植被指数的发展史

设计植被指数的目的是要建立一种经验的或半经验的、强有力的、对地球上所有生物群体都适用的植被观测量。植被指数是无量纲的,是利用叶冠的光学参数提取的独特的光谱信号。

1969年Jordan提出最早的一种植被指数——比值植被指数(RVI)

$$RVI = \frac{n}{r} \quad (1)$$

$n$ 和 $r$ 分别是近红外波段和红光波段的反射率。但对于浓密植物反射的红光辐射很小,RVI将无限增长。

后来有人提出了差值植被指数DVI,

$$DVI = n - r \quad (2)$$

Deering(1978年)提出归一化差值植被指数NDVI,将比值限定在(-1,1)范围内,

$$NDVI = \frac{n - r}{n + r} \quad (3)$$

由于NDVI可以消除大部分与仪器定标、太阳角、地形、云阴影和大气条件有关辐照度的变化,增强了对植被的响应能力,是目前已有的40多种植被指数中应用最广的一种。

尽管NDVI得到广泛的应用,但许多研究也表明,NDVI也受到定标和仪器特性、云和云影、大气、双向反射率、土壤及叶冠背景、高生物量区饱和等因素影响,使其应用受到限制。植被指数的全球应用要求不仅计算方式一致,其结果也需具有空间和时间的可比性。

为了减少大气对NDVI的影响,Kanfman和Tanre<sup>[12]</sup>发展了抗大气植被指数(ARVI),根据大气对红光通道的影响比近红外通道大得多的特点,在定义NDVI时通过蓝光和红光通道的辐射差别修正红光通道的辐射值,以有效减少植被指数对大气的依赖,即

$$ARVI = \frac{\frac{n^* - r_b^*}{n^* + r_b^*}}{\frac{n^* - r^*}{n^* + r^*}} \quad (4)$$

$$r_b^* = r^* - (b^* - r^*) \quad (5)$$

式中 $r^*$ 是预先经过了分子散射和臭氧订正的反射率, $b^*$ 为大气调节参数。研究表明,ARVI对大气的敏感性比NDVI约减小4倍。由于 $b^*$ 是决定ARVI对大气调节程度的关键参数,并取决于气溶胶的类型,Kanfman推荐的 $b^*$ 为常数1仅能消除某些尺寸气溶胶的影响,有很大的局限性;且ARVI要先通过辐射传输方程的预处理来消除分子和臭氧的作用,进行预处理时需要输入的大气实况参数往往是难以得到的,给具体应用带来困难。为此张仁华<sup>[13]</sup>等在ARVI的基础上,运用大气向下光谱的同步观测实例值以及大气辐射传输方程,得到纠正NDVI的关键参数,改进了ARVI的始终等于1的计算方法;同时也不必采用辐射传输模型进行预处理,得到新的抗大气影响植被指数(IAVI)。

$$IAVI = \frac{n - [r - (b - r)]}{n + [r - (b - r)]} \quad (6)$$

式中 $b$ 值的变化范围可从0.65~1.21之间。根据实际观测研究表明,大气对IAVI影响误差为0.4%~3.7%,比NDVI的14%~31%有明显的减小。

许多观测显示NDVI对植被冠层的背景亮度非常敏感,叶冠背景因雨、雪、落叶、粗糙度、有机成分和土壤矿物质等因素影响使反射率呈现时空变化。当背景亮度增加时,NDVI也系统性地增加。在中等程度的植被,如潮湿或次潮湿土地覆盖类型,NDVI对背景的敏感最大。为了减少土壤和植被冠层背景的干扰,Huete(1988年)<sup>[14]</sup>提出了土壤调节植被指数(SAVI),之后又提出修正的土壤调节植被指数(MSAVI)<sup>[15]</sup>。

$$SAVI = \frac{n - r}{n + r + L} (1 + L) \quad (7)$$

$$MSAVI = (2n + 1 - \sqrt{(2n + 1)^2 - 8(n - r)}) / 2 \quad (8)$$

其中 $L$ 为土壤调节参数。

高志海<sup>[16]</sup>等利用TM资料,分析了NDVI、SAVI和MSAVI对植被信息的提取能力,结果表明SAVI提取植被信息效果较好,消除土壤影响和适应植被变化的能力强; $L$ 是SAVI提取植被信息的关键,Huete推荐的最佳 $L$ 值(0.5)有很大局限性。池宏康<sup>[17]</sup>利用NOAA/AVHRR数据评价了适于提取黄土高原地区植被信息的最佳植被指数是MSAVI。MSAVI能增强植被信号,最大限度地消

除土壤背景的影响,并能宏观真实地反映该地区自然植被地带的界线。

已经发现土壤和大气对  $NDVI$  的影响不是独立的,而是以一种复杂的方式相互作用。在  $SAIL$  [18] 模式敏感性分析中发现,大气引起的  $NDVI$  噪音在暗的土壤背景下是十分显著的,而土壤对  $NDVI$  产生的噪音随着大气气溶胶含量的增加而降低。这样,增加大气噪音降低了  $NDVI$  信号,但也最小化了土壤对  $NDVI$  的噪音。这些独立的和复合的影响使得  $NDVI$  在精确估计植被生物物理量及其时间(年或年际)变化的能力上产生误差。

观测和  $SAIL$  模式敏感性试验表明,所有改进的植被指数在降低土壤和大气噪音方面均优于  $NDVI$ 。基于土壤和大气的影 响是相互作用的事实,Liu and Huete [18] 引入一个反馈项来同时对二者进行订正,这就是增强的植被指数  $EVI$ 。它利用背景调节参数  $L$  和大气修正参数  $C_1$ 、 $C_2$  同时减少背景和大气的作用。

$$EVI = \frac{n - r}{n + C_1 r - C_2 b + L} (1 + L) \quad (9)$$

## 2 MODIS 植被指数

美国国家宇航局(NASA)于1991年起启动了地球行星使命计划 MTPE (Mission To Planet Earth),目的是通过发射一系列卫星对地球进行整体、系统、连续、综合地观测,实现从单系列极轨空间平台上对太阳辐射、大气、海洋和陆地进行综合观测,获取有关五大圈和太阳动力系统等信息,进行土地利用和土地覆盖、气候的季节和年际变化、自然灾害监测和分析、长期气候变率和变化以及大气臭氧变化等研究;进而实现对大气和地球环境变化的长期观测和研究的总体目标,提高对未来气候变化的预报能力。

1999年12月18日美国发射了地球观测系统EOS(Earth Observation System)的第一颗的上午轨道环境遥感卫星 Terra。这颗星是NASA地球行星使命计划中总数15颗卫星中的第一颗。2002年5月4日第一颗EOS的下午轨道卫星 Aqua 升空。Terra 和 Aqua 上搭载了中分辨率成像光谱仪 MODIS,在  $0.4 \sim 14.4 \mu m$  范围内有36个离散光谱波段,每条轨道扫描宽度约为2300km。全球除赤道外,每日都能获得两次探测资料。

EOS的一项主要任务是研究陆地植被在较大

尺度乃至全球过程中的作用,更好地理解地球的生态系统,这就需要了解全球植被类型的分布及其生物物理和结构特性,以及空间和时间变化特点。MODIS 是这项任务的主要承担者。表1是与植被

表1 与植被指数相关的 MODIS 仪器指标

Tab.1 MODIS instrument target relative to vegetation index

通道	光谱范围(nm)	分辨率(m)	信噪比
1	620 ~ 670	250	128
2	841 ~ 876	250	201
3	459 ~ 479	500	243
4	545 ~ 565	500	228
5	1230 ~ 1250	500	74
6	1628 ~ 1652	500	275
7	2105 ~ 2135	500	110

指数相关的 MODIS 仪器指标,MODIS 在红光和近红外波段地面空间分辨率为250m,且探测波段较窄,避开了近红外波段的水汽吸收带,且红色通道(620 ~ 670nm)比 AVHRR 的(580 ~ 680nm)更窄,对叶绿素的吸收更敏感,提高了对稀疏植被探测能力,但在高密度植被下比 NOAA -  $NDVI$  更容易饱和。MODIS 在蓝光和绿光附近设有波段3,用于大气气溶胶修正,在绿光附近设有通道4,用于尝试解决浓密植被的饱和问题。

为了建立资料处理模式和算法,并指导对 MODIS 资料的科学讨论和应用,NASA 成立了由美国、澳大利亚、法国等科学家组成的专门研究队伍,分大气、陆地、海洋和定标4个科学组,从1991年开始研究,提出各种算法,已经形成诸如气溶胶、云相、水汽、土地覆盖、植被指数、叶面积指数、海面温度、生物光合作用活动、陆面温度、海洋水色、积雪等众多定量产品。MODIS 植被指数产品是在已有的植被指数的基础上改进设计的,以便使其适用于全球范围,并增强其对植被的敏感度,减少大气、观测角、太阳角、云等外部因素和叶冠背景等非植被内在因素的影响,提供时间、空间连续的可以比较的全球植被信息。包括16d合成的覆盖全球的1km、500m和250m三种分辨率的植被指数产品,以求回答全球生态系统是如何变化的,全球土地覆盖和土地利用中发生了那些变化,这些变化的原因是什么以及生态系统是如何响应和影响全球环境变化和碳循环等几个关键问题。该产品包括  $NDVI$  和  $EVI$  两种植被指数。MODIS -  $NDVI$  是已有20a积累的 NOAA -  $NDVI$  系列的延续,可以为业务监测和研究提供长期数据。 $EVI$  利用了 MODIS 辐射仪的优点,订正地表反射率以提高对高生物量区的敏感性,

并通过叶冠背景信号的耦合和减少大气影响来提高植被监测精度。这两个植被指数可以在研究全球植被、提高植被变化的探测和提取叶冠生物物理参数方面相互补充。

Huete 等<sup>[19]</sup>利用 Terra 发射后第一年(2000 年 3 月~2001 年 5 月)的 MODIS 植被指数产品,对其在不同地区生物群系下的植被监测能力作了评估,并分析了 MODIS 与 AVHRR 植被指数特点。一年多的资料表明 MODIS 植被指数对植被的季节变化、土地覆盖变化和生物物理参数变化是敏感的;通常情况下 *EVI* 比 *NDVI* 小,但在高生物量区和背景噪音大的地区 *EVI* 比 *NDVI* 大。如在潮湿的草地、阔叶林和针叶林的生长季节,AVHRR - *NDVI* 变化范围为 0.12~0.62,MODIS - *NDVI* 为 0.12~0.88,比 AVHRR 约高 50%,说明 *EVI* 比 *NDVI* 对高生物量区更敏感。MODIS 植被研究组的分析表明在高气溶胶含量下,*EVI* 比 *NDVI* 更稳定,即具有抗大气干扰能力,表明 *EVI* 对背景噪音不敏感。

### 3 结 语

我国植被状况与北美有较大差别,尤其是西北干旱半干旱地区下垫面状况复杂,包含黄土高原、戈壁、沙漠、绿洲、冰川、雪盖、湖泊、河流、森林、草地、农田等多种类型;植被覆盖度和植被种类差异很大,既有亚热带阔叶林,又有荒漠和半荒漠稀疏植被;土壤背景对植被指数的影响很大。同时西北地区大气干燥,气溶胶的状况也与其它地区有很大的差别。因此,选取一个能最大程度反映干旱半干旱地区下垫面植被状况的植被指数十分必要。

尽管 NASA 已经通过 Internet 提供少量的植被指数产品,但许多用户仍然很难及时获得这些产品,特别是高分辨率的产品,NASA MODIS 植被指数产品也存在一些问题,如云的残留,16d 合成周期可能对某些植被监测不适合,用统一的参数是否适用于全球植被监测等问题。

AVHRR - *NDVI* 已经有 20a 的资料,可以在西北地区生态环境变化研究中发挥重要作用。MODIS - *NDVI* 分辨率是 AVHRR - *NDVI* 的 4 倍,MODIS - *EVI* 具有抗大气和背景噪声作用,所以 MODIS 植被指数能够更精确反映地表植被及其变化,研究 MODIS - *NDVI* 和 *EVI* 的各自特点和相互关系以及与 AVHRR - *NDVI* 的联系,对精确监测西北地区植被并研究该地区环境的长期变化具

有重要意义。另外,*EVI* 中背景参数(*L*)和大气调节参数( $C_1$ 、 $C_2$ )是其抗土壤和大气影响的关键指标,寻求更适合于西北地区的  $C_1$ 、 $C_2$  和 *L* 参数值也是值得重视的问题。此外,由于卫星观测时间和观测角度不同而存在的双向反射影响而造成的 EOS/MODIS 上、下午星植被指数的差异也是值得研究的问题。

因此,研究 MODIS - *NDVI* 和 *EVI* 的植被监测能力以精确提取下垫面植被状况,对 *EVI* 的参数做细致研究以获得适合于西北地区植被监测的参数,建立 MODIS - *NDVI* 和 AVHRR - *NDVI* 的相互关系等,对利用 AVHRR 和 MODIS 资料了解西北地区植被状况及其演变具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] Dajima T, Kajiwar K, Tateishi R. Global land cover classification by NOAA AVHRR data [A]. In: Proceedings 11th ACRS [C]. Guangzhou: [s. n], 1990. S- 3- 1- S- 3- 6.
- [2] 郭锐,陈添宇,陈乾,等.用 NOAA 气象卫星资料对甘肃省河东地区土地覆盖分类[J].高原气象,14(4):467- 475.
- [3] 盛永伟,陈维英,肖乾广,等.利用气象卫星植被指数进行我国植被的宏观分类[J].科学通报,1995,40(1):68- 71.
- [4] 郭锐,杨兰芳,王涓力.黑河流域生态环境气象卫星遥感监测研究[J].高原气象,2002,21(3):267- 273.
- [5] 孙睿,朱启疆.中国陆地植被净第一性生产力及季节变化研究[J].地理学报,2000,55(1):36- 45.
- [6] 肖乾广,陈维英,盛永伟,等.用 NOAA 气象卫星的 AVHRR 遥感资料估算中国的净第一性生产力[J].植物学报,1996,38(1):35- 39.
- [7] 肖乾广,周嗣松,陈维英,等.用气象卫星数据对冬小麦进行估产的试验[J].环境遥感,1986,1(4):37- 43.
- [8] 陈维英,肖乾广,盛永伟,等.距平植被指数在 1992 年特大干旱监测中的应用[J].环境遥感,1986,1(4):106- 112.
- [9] 郭锐,李栋梁,蔡晓军,等.1995 年中国西北东部特大干旱的气候诊断与卫星监测[J].干旱区地理,1997,9(3):69- 74.
- [10] 郭锐,陈添宇,雷建勤,等.用 NOAA 卫星可见光和红外资料估算甘肃省东部农田区土壤湿度[J].应用气象学报,1997,8(2):212- 218.
- [11] Sellers P, Los S O, Tucker C J, et al. A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs. Part II: The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from satellite data[J].J Climate,1996, (9): 706- 737.
- [12] Kaufman YJ, Tanre D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS - MODIS[J]. IEEE Trans Geosci Remote Sensing,1992, (30):261- 270.
- [13] 张仁华,饶农新,廖国男,等.植被指数的抗大气影响探讨[J].植物学报,1996,38(1):53- 62.
- [14] Huete A R. A soil adjusted vegetation index (SAVI) [J]. Remote Sens Environ. 1988, (25):295- 309.

- [15] Qi J. A modified soil adjusted vegetation index[J]. Remote Sens Environ, 1994, (48): 119 - 126.
- [16] 高志海、魏怀东、丁峰,等. TM 影像 VI 提取植被信息技术研究[J]. 干旱区资源与环境, 1998, 12(3): 98 - 104.
- [17] 池宏康. 黄土高原地区提取植被信息方法的研究[J]. 植物学报, 1996, 38(1): 40 - 44.
- [18] Liu H Q, Huete. A Feedback Based Modification of the NDVI to Minimize Canopy Background and Atmospheric Noise [J]. IEEE Trans Geosci Remote Sensing, (33): 457 - 465.
- [19] Huete A, Didan K, Miura T, et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indexes [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, (83): 195 - 213.

## Vegetation Index and Its Advances

GUO Ni

(Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou, 730020, China)

**Abstract:** Spectral reflectance characteristic of vegetation was introduced. The advantage and disadvantage of several vegetation indexes in common use were summarized. The characteristics of vegetation monitoring by using MODIS sensor and the two NASA vegetation indexes products and their shortage were indicated. The importance of studying on MODIS vegetation indexes in Northwest China was presented.

**Key words:** vegetation index; MODIS; Northwest China; spectral characteristic

## 国际会议报道

2003年11月18~21日, IPCC(政府间气候变化委员会)、CLIVAR(气候变化及可预测性研究计划)、PAGES(IGBP关于过去全球变化研究)在美国亚利桑那州(Arizona)的南部城市图森(Tucson), 联合召开了名为“千年尺度干旱及展望”的国际学术研讨会。由70多名从事干旱和相关问题研究的科学家出席了会议, 其中10~15名科学家来自非洲、亚洲、南美洲的发展中国家, 中国气象局兰州干旱气象研究所张强研究员和中国气象局国家气候中心张德二研究员等代表出席了此次会议。

会议议题是“全球千年尺度的干旱气候变化问题”, 重点是“北美和非洲北部的干旱”: 明确北美、非洲北部两地区干旱记录和干旱机制的发展水平, 以及两地区目前所面临的严重干旱; 同时也涉及全球其它地区的干旱问题。会议就“北美古气候学观测”、“非洲北部古气候学观测”、“北美器测记录”、“非洲北部器测记录”、“干旱遥相关及影响”、“陆面过程”、“机制与强迫”、“模式问题”等8个专题进行了深入交流, 在会议期间, 中国代表分别做了题为“Drought hange and Severe Events in the Past Years of China”和“The Drought in Northern China in the Past Half Century”的报告, 中国的干旱问题引起了国际同行的普遍关注。

会议对有关干旱的新的理念、新的观测事实、新的分析方法和理论等引起关注, 以及指出加强认识、改进分析方法和提高预测能力的各种途径, 并且对一些重要的干旱气候的突变时间获得了共识。

王涓力