

## 基于高光谱数据提取作物冠层特征信息的研究进展

祁亚琴<sup>1</sup>, 王登伟<sup>1</sup>, 陈冠文<sup>2</sup>, 黄春燕<sup>1</sup>, 段震宇<sup>2</sup>, 陈燕<sup>1</sup>, 袁杰<sup>1</sup>, 杨坤<sup>1</sup>

(1 新疆兵团绿州生态农业重点实验室, 石河子 832003; 2 新疆农垦科学院, 石河子 832000)

**摘要:** 高光谱(Hyperspectral)遥感是指光谱分辨率在  $10^{-2}\lambda$  的遥感信息, 其特点是光谱分辨率高(5~10nm)、波段连续性强(在 0.4~2.5 $\mu\text{m}$  范围内有几百个波段)。高光谱遥感器既能对目标成像(有时也称成像光谱遥感)、又能测量目标物的波谱特性, 因此, 它不仅可以用来提高对农作物和植被类型的识别能力, 而且还可以用来监测农作物长势和反演农作物的理化特性。绿色植物具有独特的光谱曲线特征, 而作物具有绿色植物典型的光谱特征曲线, 基于作物的光谱特征研究与其生理生化特性之间的关系, 高光谱遥感数据在提取作物生理生化特征、提取作物冠层信息、估产以及预测病虫害等许多方面都表现出巨大的应用潜力。本文概述了利用高光谱数据提取作物冠层信息的研究现状、展望及其在新疆棉花生产中的应用和前景。

**关键词:** 高光谱遥感; 提取; 作物冠层特征信息

**中图分类号:** S562      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-7807(2005)06-0371-05

## Research of Crop Canopy Characteristic Information by Using Hyperspectral Remote Sensing Data

QI Ya-qin<sup>1</sup>, WANG Deng-wei<sup>1</sup>, CHEN Guan-wen<sup>2</sup>, HUANG Chun-yan<sup>1</sup>, DUAN Zhen-yu<sup>2</sup>, CHEN Yan<sup>1</sup>, YUAN Jie<sup>1</sup>, YANG Kun<sup>1</sup>

(1. *The oasis key laboratory of ecological agriculture of Xinjiang, Shihezi 832003 China; 2. Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Shihezi 832000, China*)

**Abstract:** The remote sensing of the hyperspectral means the resolution ratio of the spectrum is in the remote sensing information of 0.01, its characteristic is that a resolution ratio of spectrum is high (5-10nm), wave band continuity is strong (There are hundreds of wave bands in 0.4-2.5  $\mu\text{m}$  range). Hyperspectral remote sensing device can measure spectrum characteristic, goal of thing also, to goal formation of image (call formation of image spectrum remote sensing too sometimes), so, it can not merely be used for improving the recognition capability to the crops and vegetation type, and the physics and chemistry characteristic that can also be used for monitoring the growing situation of the crops and performing the crops instead. The green plants possess the characteristics of unique spectrum curve, and the crop possesses the characteristics of spectrum that the green plants are typical in the curve, on the basis of spectrum characteristic of the crop being the argument of research and its relation of biochemical characteristic of physiology, so the remote sensing data of hyperspectral are performing the biochemical characteristic of physiology of crops instead, draw crop preceded layers of information, assess and predict plant diseases and insect pests a lot of not to demonstrate enormous application potentiality. This text is to utilize high spectrum data to draw crop preceded layers of current situation to sum up the prospect of research of information, and the application prospect in the production of the cotton in Xinjiang.

**Key words:** remote sensing of hyperspectral; extraction; crop canopy characteristics information

**收稿日期:** 2005-05-23      **作者简介:** 祁亚琴(1979-), 女, 在读硕士 qiaqia0412@21cn.com

**基金项目:** 国家自然科学基金(30060039; 30460060)

近年来,随着遥感技术和计算机软、硬件技术的发展与完善,各种地面光谱仪获取的高光谱遥感数据,加上相应的若干有效的高光谱遥感信息处理方法与技术,使得人们能够更充分、有效地对遥感数据进行各种分析。遥感的应用领域越来越广而且不断深入,其中尤以植被的高光谱遥感信息为甚。

植被高光谱遥感数据,按获取方式的不同,采用相应的高光谱遥感信息处理技术处理后,可用于植被参数估算与分析、作物长势监测<sup>[1]</sup>、估产及遥感图像定标与纠正等领域。近年来,随着双向反射模型的建立与完善,高光谱遥感与双向反射模型的反演相结合,加上逐步成熟的植被高光谱分析算法,为更准确地探测植被的精细光谱信息,定量反演植被各组分含量及叶面积指数 LAI 等植被结构参数,精确估算植物所吸收的光合有效辐射 APAR,植物的初级生产力 NPP 等指标提供了可能,从而推进了遥感定量化的进程<sup>[2]</sup>。

## 1 国内外研究的现状

### 1.1 利用高光谱遥感提取作物冠层生物物理参数的研究

从高光谱数据中提取生物物理参量主要是指用于植被研究的一些生物物理变量,如:叶面积指数 LAI、生物量、植物种类、光合有效辐射率、净生产率及其冠层结构参数等<sup>[3]</sup>。这些参数可以反映植物生长发育的特征动态,也是联系物质生产和反射光谱关系的中间枢纽。

**1.1.1 利用高光谱数据定量提取植物叶面积指数 LAI 的研究。** LAI(叶面积指数)是单位面积上所有叶片表面积的总和, LAI 也可定义为单位面积上所有叶子向下投影的总和<sup>[4]</sup>。LAI 是生态系统研究中最重要结构参数之一,它是估计多种植冠功能过程的重要参数。LAI 可为植冠表面最初能量交换描述提供结构化定量信息。

Wiegandetal 首次把光谱观测与 LAI 联系起来,叶面积指数难以直接通过遥感信息进行反演,但高光谱遥感应用与发展为此提供了可能,童庆禧等就是根据 LAI 与高光谱遥感图像植被因子之间的理论模型来获取 LAI:

$$LAI = -(1/2C) \ln(1-\varphi)$$

式中  $C^2 = k^2 - \beta^2$ ,  $k$  为植被吸收系数,  $\beta$  为散射系数;  $\varphi$  为归一化植被因子<sup>[5]</sup>。该方程中使用的

不是某几个点的导数值,而是包含了叶绿素吸收和叶细胞反射重要波段范围内的导数波形积分值。

**1.1.2 利用高光谱数据提取植被初级生产力 NPP 与生物量的研究。** 冠层的理化特性在一定程度上控制着森林的初级生产力(NPP),比如叶面积和氮含量通过控制光合作用和传输速率来影响 NPP。

在利用参数模型进行 NPP 的估算时,有的直接利用 NDVI(归一化植被指数)与 NPP 的关系进行计算。Prince 在 Sahelia 在半干旱草原进行了长达 8 年的实地生产力观测,并与同一时期的多时相 NOAA 气象卫星的年 NDVI 之和进行分析,表明生产力在  $0 \sim 3000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^2$  的范围内时它们之间存在很强的线性关系<sup>[6]</sup>。

另外,也有学者认为年 NDVI 与 ANPP 间存在非线性关系,Chong 等认为 ANPP 与 NDVI 间存在幂函数关系<sup>[7]</sup>;而肖乾广等则认为 ANPP 与 NDVI 间存在对数函数关系,并用此关系估算了中国陆地的 NPP<sup>[8]</sup>。

张良培利用样本 NDVI 和测量所得的生物量数据进行回归分析,相关系数在 0.7 以上<sup>[9]</sup>。Hame 等结合地面调查和高分辨率图像(TM)用相关分析的方法建立了预测生物量的模型,然后再直接应用到低分辨率的 AVHRR 图像上,成功地估算了面积达几百万平方公里的欧洲以针叶树占优势的北方针叶林的生物量,并且估算的精度超过了预先的期望<sup>[10]</sup>。

**1.1.3 作物消光系数 K,叶倾角 FIA,叶片分布 LD,冠层辐射透过系数 TR 等冠层结构参数的研究。** 光能利用率是作物获得高产的基础。综合前人研究结果,反映作物群体光辐射特征的指标主要有:叶面积指数 LAI、消光系数 K、叶片分布 LD、叶倾角 FIA、冠层辐射透过系数 TR 等,且各指标间有着密切的关系。

Ross 等用蒙特卡罗方法来模拟了植被冠层的双向反射特性,在模型中考虑了树冠高度、冠间距离、树冠面积密度、以及叶长、叶宽、叶片大小、叶倾角分布函数(LAD)及土壤反射率等参数对植被反射的影响<sup>[11]</sup>。

杨长明等应用光谱辐射仪,对不同株型水稻品种的冠层光谱辐射能进行观测和计算,比较分析了不同冠层群体光谱分布特征的差异性。结果

表明,不同株型水稻品种群体冠层内太阳光谱辐射反射率  $\alpha$ 、透射率  $\beta$  和吸收率  $\tau$  及消光系数  $K$  存在明显差异,尤其以蓝光辐射(400~510 nm)差异最为显著<sup>[12]</sup>。

李云梅等通过对植被二向反射特性的研究,可反演植被冠层结构信息,如叶面积指数、平均叶角、株高、覆盖率等。在大田对水稻冠层结构及二向反射率进行实测,并分析了二向反射率随冠层结构变化规律。结果表明,植被冠层二向反射率对入射角与观测角的敏感性随着植被冠层结构的变化而变化,蕴涵着丰富的植被结构信息<sup>[13]</sup>。

**1.1.4 光能利用率与高光谱关系的研究。**理论和实验都证明,植物冠层的光合有效辐射与反射率有联系。遥感所得的 APAR 比 LAI 能更可靠地估计作物的生物量,因为作物的光合作用过程直接把 APAR(植物吸收的光合有效辐射)能量转换成干物质,因此 APAR 是作物初级生产力的一个较好的指标。

Eduardo 利用地面测量的光谱数据计算了 9 种植被指数 RVI, NDVI, SAVI2, TSAVI, RDVI, PVI, GVI3, STVI, CRVI, 用来估算灌溉和非灌溉区豆类的 FAPAR(入射光合有效辐射的吸收系数)<sup>[14]</sup>。结果表明,这些 VI 值都受测量光谱的太阳角影响,特别是在太阳角大于  $45^\circ$  时,其中受影响最大的是 STVI 和 CRVI。RVI 和 NDVI 用来估计豆类的 FAPAR 效果最好。

研究表明,可通过双向反射模型,利用卫星和地面测量的光谱数据来估算叶子的生物物理参数 LAI 和 FAPAR<sup>[15-16]</sup>。McMichael 在北极冻原生态系统中用手持光谱仪测得的光谱数据计算 NDVI,来估计  $\text{CO}_2$  的流量,并建立了 NDVI 与研究区光合作用,生态系统呼吸作用的关系<sup>[17]</sup>。

## 2.2 高光谱遥感信息的处理方法<sup>[2]</sup>

高光谱遥感信息易受诸如遥感器老化、地物二向性反射、大气效应、地形因子等外部因素的影响,这些因子都会削弱高光谱遥感数据赖以区分地物的敏感性。因而,高光谱遥感信息的光谱必须进行定标和大气辐射校正。以消除这些因子的影响,这是遥感定量化研究的一个关键环节。

**降维运算:**为了将高光谱遥感数据与常用的宽波段数据进行对比分析,有必要对它进行降维处理。

**导数光谱技术<sup>[18]</sup>:**导数光谱技术是分析高光谱遥感信息较为常用和有效的一种技术。一般用

的较多的是一阶或二阶导数技术,导数技术通常直接针对光谱数据的某些特殊应用。

**红边效应分析技术:**由于植物体内叶绿素吸收作用的影响,植被反射光谱在红到近红外区(660~770nm)出现一个陡峭的爬山脊,称为红边<sup>[19]</sup>。通常采用红边斜率和红边位置两个因子来描述红边的特性。利用植被高光谱遥感信息可以较为细致地描述植被的红边特性,红边的位置和斜率可以通过导数运算得到。红边斜率主要与植被覆盖度或叶面积指数有关,覆盖度越高或叶面积指数越大,红边斜率越大。红边位置主要与叶片叶绿素含量有关,当植被中叶绿素 b 含量减少时,红边位置将向短波方向偏移,通常称之为“蓝移”。当植被因缺水而发生叶子枯萎时,红边位置将向长波方向偏移(红移)。而用宽波段数据几乎不可能得到与叶绿素含量密切相关的红边光学参数<sup>[20]</sup>。唐延林等利用光谱红边特征研究棉花的叶面积指数、地上生物量及色素含量等与红边参数的相关关系,促进了高光谱分辨率遥感技术在农作物长势监测和估产中的应用<sup>[21-22]</sup>。

**高光谱遥感数据的压缩技术:**随着遥感技术的发展和遥感数据需求量的增长,具有高光谱分辨率覆盖几百条波段的成像光谱仪越来越多。高光谱遥感数据的压缩分为无损压缩和有损压缩两种类型。采用哪种压缩根据图像应用的目的和精度的要求而定。为方便这些高光谱遥感数据的传输和存储及利用,高光谱遥感数据的压缩技术成为必需的、关键性的遥感图像处理技术<sup>[23]</sup>。

## 2.3 植被高光谱的分析算法<sup>[2]</sup>

**光谱植被指数:**根据植被的反射光谱特征,通常是用植被红光,近红外波段的反射率和其他因子及其组合所获得的植被指数 VI(近 50 种)来提取植被信息,并在区域和全球尺度上广泛应用于从高空对农作物与林木生长状况,农业估产和生态环境的监测。

**光谱匹配:**将混合像元与光谱数据库光谱或与实验室、地面实测的参考光谱进行光谱匹配可以直接识别地物成分。美国 JPL 最早发展了二值编码光谱匹配,已用于单矿物的识别。Price 选用 45 幅 AVIRIS 高光谱图像,在 400~2500 nm 波段范围内,通过统计分析和与实验室测得的光谱进行匹配分析,找到了分别对地表水、雪、火、植被和土壤较敏感的 5 个光谱波段,这 5 个波段是 460~540nm、610~690nm、990~1090nm、1520

~1610nm、2080~2170nm,从而为通过 AVIRIS 等高光谱图像方便地识别上述五种地表覆盖类型奠定了基础<sup>[24]</sup>。

**混合象元分解:**图像中每个象元均是一些最终单元(endmember)光谱的线性混合。由于高光谱遥感具有光谱波段划分细,数量多等特点,有利于选择各种单一地物光谱区分明显的波段,将混合光谱反演成为单一光谱。Roberts 用 AVIRIS 高光谱数据,采用混合光谱分解和光谱匹配技术相结合的方法对美国 San-taMonica 山区进行地物识别和分类制图<sup>[25]</sup>,进一步表明了用高光谱遥感技术可以在区域尺度上对山区的植被变化进行监测。

**模型反演:**植被光谱模型反演植被生物物理参量是定量遥感发展的重要趋势。Barry 建立了植被叶子的辐射传输模型(LEAFMOD),给定叶子的厚度和一些光学特性比如叶子吸收和散射系数即可估算叶子的反射和透射系数。反过来,由实测的叶子反射和透射光谱特性即可计算叶子的吸收和散射系数<sup>[26]</sup>。

### 3 高光谱遥感技术的应用展望

高光谱遥感作为一种新的遥感技术已经在 NDVI、LAI、光合有效辐射等因子的估算中以及在植被生物化学参数分析、植被生产量和作物单产估计、作物病虫害监测等方面得到广泛的应用。

但是,高光谱遥感(特别是卫星高光谱遥感)在农业上的应用还处于基础研究与实际应用的前期,存在诸如指数确定、建模等问题,还有待进一步探索。

#### 3.1 高光谱的应用研究有以下一些发展趋势

3S 技术的结合,是今后遥感成功应用与全球植被监测和管理研究中的必然趋势;目前,用于地面和航空的遥感对植被监测的试验较为普遍,这就为将来应用于航天高光谱遥感研究奠定了基础;高光谱遥感数据量十分巨大,选择那些信息含量多、数据相关性小、地物光谱差异大、可分性好的波段作为最佳工作波段,应该研制新的硬件、软件来提高存储容量和处理速度。

#### 3.2 高光谱遥感技术在新疆棉花生产中的应用前景

利用高光谱遥感技术可以监测棉花的长势;诊断棉花的营养状况;指导棉田灌溉,提高水资源利用率;提高棉花养分管理水平和施肥技术;棉花

病虫害预报;快速预测种植面积;预测产量等<sup>[28]</sup>。可以快速精确地获取作物生长状态以及环境胁迫的各种信息,从而相应调整投入物资的施入量,达到减少浪费,增加产量,保护农业资源和环境质量的目的,必将有助于缩短兵团精准农业的研究进程,是未来精准农业和农业可持续发展的重要手段。

随着现代化科学技术的发展,高光谱遥感这一高新技术,必将在我们的科学研究和实际应用当中作出非常显著的贡献。

#### 参考文献:

- [1] 王登伟,李少昆,田庆久,等. 棉花主要栽培生理参数的高光谱估测研究[J]. 中国农业科学, 2003, 36(7): 770-774
- [2] 申广荣,王人潮. 植被高光谱的应用研究综述[J]. 上海交通大学学报(农业科学版)2001,19(4):315-321.
- [3] BOUMAN B A M. Linking Physical remote sensing models with crop growth simulation models, Applied for sugar beet[J]. International Journal of Remote Sensing, 1992, 13 (14): 2565-2581.
- [4] 浦瑞良,官鹏. 高光谱遥感及其应用[M]. 北京. 高等教育出版社. 2000.
- [5] TONG Qin-xi, ZHEN Lan-fen, WANG Jin-nian(童庆禧,郑兰芬,王晋年). Study on imaging spectrometer remote sensing information for wetland vegetation [J]. Journal of Remote Sensing(遥感学报)1997,1(1):50-57. (in Chinese)
- [6] PRICE S D. Satellite remote sensing of primary production: comparison of results for Sahelian grasslands 1981-1988; Int J Remote Sensing, 1991a, 12 (6): 1301-1311.
- [7] CHONG D L S. Relating the global vegetation index to net primary productivity and actual evapotranspiration over Africa[J]. Int J Remote Sensing, 1993, 14 (8): 1517-1546.
- [8] XIAO Qian-guang, CHEN Wei-ying, DU Peng, et al (肖乾广,陈维英,杜鹏等). Monitoring the ecological transect in east Asia monsoon region by meteorological satellite remote sensing[J]. Acta Botanica Sinica (植物学报). 1997, 39(9): 826-830. (in Chinese)
- [9] 张良培,郑兰芬. 利用高光谱对生物量进行估计[J]. 遥感学报, 1997, 1(2): 111-114.
- [10] HAME T. A new methodology for the estimation of biomass of conifer-dominated boreal forest using NOAA AVHRR data [J]. Int J Remote Sensing, 1997, 18(15): 3211-3243.

- [11] ROSS J K, Marshark A L. The influence of leaf orientation and the specular component of leaf reflectance on the canopy bidirectional reflectance [J]. *Remote Sens. Environment*, 27: 251-260.
- [12] 杨长明. 不同品种水稻群体冠层光谱特征比较研究 [J]. *应用生态学报*, 2002, 13(6): 689-692.
- [13] 李云梅. 水稻冠层垂直反射率模拟 [J]. *作物学报*, 2003, 29(3): 397-401.
- [14] EDUARDO R, Jose R C, Ines M M. Estimating fapar from nine vegetation indices for irrigated and nonirrigated faba bean and semileafless pea canopies [J]. *Remote Sens Environ*, 1998, 66: 87-100.
- [15] ANDRIEU B, Baret F, Jacquemoud S, et al. Evaluation of an improved version of SAIL model for simulating bidirectional reflectance of sugar beet canopies [J]. *Remote Sens Environ*, 1997, 60: 247-257.
- [16] PATRICE B, Marc L. A method of biophysical parameter retrieval at global scale by inversion of a vegetation reflectance Model [J]. *Remote Sens Environ*, 1999, 67: 251-266.
- [17] MCMICHAEL C E, Hope A S, Stow D A, et al. Estimating CO<sub>2</sub> exchange at two sites in arctic tundra ecosystems during the growing season using aspectral vegetation index [J]. *Int J Remote Sensing*, 1999, 20(4): 683-698.
- [18] FUAN T. Derivative analysis of hyperspectral data [J]. *Remote Sens Environ*, 1998, 66: 41-51.
- [19] 方红亮, 田庆久. 高光谱遥感在植被监测中的研究综述 [J]. *遥感技术与应用*, 1998, 13(1): 12-18.
- [20] 蒲瑞良, 官 鹏. 森林生物化学与 CASI 高光谱分辨率遥感数据的相关分析 [J]. *遥感学报*, 1997, 1(2): 21-25.
- [21] 唐延林, 王秀珍, 黄敬峰, 等. 棉花高光谱及红边特征 (I) [J]. *棉花学报*, 2003, 15(3): 146-150.
- [22] 唐延林, 王秀珍, 黄敬峰, 等. 棉花高光谱及红边特征 (II) [J]. *棉花学报*, 2003, 15(4): 215-220.
- [23] MICHAEL J R, John F A. Lossy compression of hyperspectral data using vector quantization [J]. *Remote Sens Environ*, 1997, 61: 419-436.
- [24] JOHN C P. Approach for analysis of reflectance spectra [J]. *Remote Sens Environ*, 1998, 64: 316-330.
- [25] ROBERS D A. Mapping chaparral in the santa monica mountains using multiple end member spectral mixture models [J]. *Remote Sens Environ*, 1997, 65: 267-79.
- [26] BARRY D G. Leafmod: A new within-leaf radiative transfer model [J]. *Remote Sens Environ*, 1998, 63: 182-193.
- [27] ANDRIEU B. Evaluation of an improved version of sail model for simulating bidirectional reflectance of sugar Beet canopies [J]. *Remote Sens Environ*, 1997, 60: 247-257.
- [28] 蒋桂英, 李鲁华, 刁 鹏, 等. 高光谱分辨率遥感在新疆棉花上的应用前景 [J]. *中国棉花*, 2003, 30(2): 2-4. ●