

高光谱遥感在北方农牧交错带生态界面研究中的作用

王红梅^{1,2}, 王 堃^{1*}, 谢应忠²

1. 中国农业大学草地研究所, 北京 100094

2. 宁夏大学草业所, 宁夏 银川 750021

摘要 生态界面是当前生态学研究热点, 农牧交错带是中国北方特有的生态过渡带, 其内部存在大量的农田、草地镶嵌体形成的界面。该生态界面变化直接影响农牧交错带生态系统的功能发挥, 及时掌握该交错带的生物和非生物生态因子的变化信息, 是实现该地区可持续发展的首要条件。高光谱遥感技术以其光谱分辨率高、光谱划分精细、波段多、信息量丰富等独特性能用于不同领域, 在农牧交错带生物与非生物生态界面研究方面有巨大的应用潜力和前景。文章介绍了高光谱遥感技术的原理、生态界面、植被、土壤等方面的光谱应用, 并对其应用在北方农牧交错带大气气候研究应用的前景进行了展望。

关键词 高光谱遥感; 农牧交错带; 生态界面; 植被; 土壤

中图分类号: S28 **文献标识码**: A **DOI**: 10.3964/j.issn.1000-0593(2009)06-1636-04

引言

一直以来, 生态学家多研究匀质性区域生态系统的特征和过程, 忽略生态系统之间存在的异质性空间。这种具有各种动态和功能的作用, 过渡带被称作是生态交错带^[1]。物种可能处于它们的耐受极限范围其内部往往表现对环境变化的极为敏感。交错带(生态界面)位置的动态变化, 可以作为环境变化的指示(如根据长久以来交错区的移动分析得出了过去气候的变化)。当前生态交错带(界面)研究是景观生态学和全球气候变化的研究热点^[2, 3]。因此, 为了更好的研究和理解交错带生态界面的功能和动态, 需要一些定量研究其定位和特征特点的方法^[4, 5]。

华北农牧交错带是全球气候变化最敏感地区之一, 也是生态环境非常脆弱的地区^[6]。我国的农牧交错带系指北方湿润农业区与半干旱草原牧区接壤过渡处的半农半牧区^[7]。近年来这个生态界面受到人类活动的严重干扰, 直接影响两个生态系统的功能发挥。如何进行农牧交错带景观的判定和其内部各种斑块形成的生态界面研究, 是更好地了解农牧交错带在区域尺度上生态学过程的基础。

遥感技术能够把交错带界面可视化, 基于地面的一些特征, 如植被、土壤类型和土壤湿度等, 可对界面进行判定, 图片影像可以利用不同的传感器在不同的时间, 空间和分辨率

上获得。过去影像处理往往把处于两个匀质生态系统之间的生态界面处理成一条线, 而现在, 则需要新的影像处理方法去进行交错带生态界面的研究^[1]。高光谱遥感技术是当前较为先进的技术, 其光谱分辨率高, 光谱划分精细, 并具有波段多, 信息量丰富等独特性能, 以及在地表物质的识别和分类, 有用信息的提取方面与其他技术相比有很大优势, 使得这一技术在环境监测, 植被的精细分类, 农作物生长监测, 地质矿岩识别定量监测等方面有着广泛的应用, 这些都有助于农牧交错带生物与非生物生态界面的研究。

1 高光谱遥感技术简介及在生态界面研究的应用特点

高光谱分辨率遥感技术的发展是20世纪末人类在对地观测方面所取得的重大技术突破之一, 也是当前以及今后几十年内的遥感前沿技术。与传统的遥感相比, 高光谱分辨率的成像为每一个成像象元提供很窄的(一般小于10 nm)成像波段, 所获得的地物光谱曲线是连续的光谱信号, 这不只是简单的数据量的增加, 而是有关地物光谱空间信息量的增加^[8], 按照信号处理的观点, 遥感所能区别的地物在光谱空间上应满足两个反射峰值的中心点的距离大于每一个反射波的半波宽, 传统的遥感区分的目标物一般是在波谱空间上具有明显的差异性, 如水体、植被、裸地等, 它们具有完全不

收稿日期: 2008-05-10, 修订日期: 2008-08-20

基金项目: 国家“973”计划项目(2007CB106805)资助

作者简介: 王红梅, 女, 1979年生, 中国农业大学草地研究所博士研究生 e-mail: whm_826@163.com

* 通讯联系人 e-mail: wangkun6060@sina.com

同的光学行为,而高光谱分辨率遥感由于满足连续性与光谱可分性的要求,能够区别同一种地物的不同类别,这无疑为遥感技术在环境调查中的应用提供了更为完整的理论基础和更加有力的方法,因此如何快速、准确地从这些数据中提取植被的生物化学和物理信息,识别不同的植被,揭示目标的本质,则需要依据实际应用的具体要求选择最佳波段进行处理解译^[8]。这样促进了数据处理与信息分析技术的根本性的变化^[9]。

高光谱遥感对地观测和环境调查的广泛应用,利于生态界面研究从定性到定量的研究,可做到界面上生物和非生物因素分类的精细化。应用特点体现在以下几个方面。

(1)地物的分辨识别力的提高,可区别同一种地物的不同类别。同时由于成像光谱的波段变窄,可选择的成像通道变多,使得“异物同谱”与“同谱异物”的现象减少,只要波段的选择与组合得恰当,一些地物光谱空间混溶的现象可以得到极大的控制,这无疑为进一步的生态界面分析提供了最为可靠的保证;

(2)成像通道的增加,使得在处理不同应用的分析中,光谱的可选择性变得灵活和多样化,这极大的增加了研究目标物的数量,如不同植物种类、土壤成分的识别;

(3)光谱空间分辨率的提高,使得一些应用方向成为可能,如生物物理化学参数的提取,利用高光谱数据进行有关植被叶绿素a、木质素、纤维素等生化分析,为遥感技术的应用提供了新的研究方向,也为生态界面尺度的深入研究提供基础条件;

(4)遥感定性分析向定量或半定量的转变,高光谱分辨率成像遥感突破了传感器的光谱和空间分辨率、大气和土壤背景的干扰等限制,这对于定量分析结果精度的提高有很大的帮助。

2 高光谱遥感技术在生态界面研究中的生物因素(植被)和非生物因素(土壤)研究中的应用

2.1 生态界面的空间结构分析的是影像空间结构的分析

景观生态界面的空间结构分析是景观生态学研究的一个内容。而用于景观空间结构分析的手段和方法也在不断地发展和改进。影像空间结构是指影像的基本组成单元-像素的空间组成和排列方式,是地表景观结构的直接表现形式。异质性是景观的基本属性,任何景观(包括地表景观)都是异质的。遥感图像所反映的是景观的二维异质性,并且这种异质性主要是结构上的,而并非是功能上的。如何直接利用高光谱遥感影像直接对地表景观结构的异质性进行分析,是进一步拓展高光谱分辨率遥感在地表环境调查应用中的一个方向^[9]。生态界面的判定除了要进行景观生态界面的判定还包括界面上各种生物因素(植被等)和非生物(土壤水分,有机质等)生态因素的界面判定,在一定程度上是生态界面功能认识的基础。

2.2 高光谱遥感技术在生物生态因素的的应用(植物的精细分类,植物种类的判定,植物物候的动态控制)

应用植被遥感的概念现在已经扩大为生态遥感,所涉及的领域非常广泛,是目前高光谱遥感应用的热点。在该领域中,植被遥感一个重大的提高就是已经不局限于植被类型的识别与分类,而是可以对生态、物理、化学参数的提取,为植物生长状况的评价、生物量的估计、植物生态学评价等提供了新的技术手段,改变了传统的植被地面调查方法,使之更具高效性、大范围性和准确性。高光谱植被遥感研究的分析方法主要有以下几种:多元统计分析技术、基于光谱波长位置变量的分析技术、光学模型方法和参数成图技术。地质遥感工作者在提取各种地质矿物成分信息及制图等工作研究时,也发展了许多技术方法,如:光谱匹配技术、混合光谱分解技术、光谱分类技术、光谱维特征提取方法和模型方法等^[8]。这些无疑对生态界面的准确判定提供了技术手段。

2.2.1 植被的光谱特征

不同植被类型,由于组织结构、季相、生态条件不同而具有不同的光谱特征、形态特征和环境特征等,这些特征在遥感影像中可以表现出来。

(1) 植被光谱反射特征

一般而言,健康绿色植物的光谱曲线总是呈现明显的“峰和谷”的特征^[8],其反射光谱特征规律性明显而独特。健康的绿色植物光谱曲线在可见光波段(0.4~0.76 μm)有一个小的反射峰,两侧有两个吸收带,即在0.45 μm (蓝)和0.67 μm (红)波段为低谷,这是因为叶绿素对蓝光和红光吸收作用强,而对绿光反射作用强。在近红外波段(0.7~0.8 μm)有一反射的“陡坡”,至1.1 μm 附近有一峰值,形成植被的独有特征。由于叶子内部的液态水分的强烈吸收作用,在1.4, 1.9和2.7 μm 处有3个明显的低谷。此外在1.6和2.2 μm 处也有两个反射峰。由于植物生长状况、植物品种、叶子生长部位及生长季节等的不同,植被光谱曲线的峰和谷的形态、位置都会产生很大的差异。高光谱技术通过对波段的精细划分,能够记录这些光谱特征的差异^[10]。

(2) 植被光谱吸收特征

在高光谱数据中,植物生化组分在电磁波谱上显示的诊断性光谱吸收特征,只有利用高光谱数据才有可能被探测到^[8]。在高光谱植被遥感研究中,常用到一元或多元统计分析技术,以及植被的一些光谱吸收特征变量。可通过光谱的一阶微分反射比来计算一元相关性^[11]。利用Kokaly^[12]提到的从连续统去除后(CR, continuum removed)的吸收特征所计算出的波段深度和波段深度比两个变量进行多元统计分析。连续统去除后的微分反射比和归一化的波段深度指数等光谱吸收特征变量也常用于高光谱遥感应用分析中。

2.2.2 植物光谱特征的冠层生化元素预测分析

(1) 植被的生化组分

如要进行大面积调查,传统方法将极难收集到足够的典型数据,而高光谱遥感技术则能够预测大面积植被冠层的生化组分含量。植被的生化组分主要是指水分、叶色素、蛋白质、淀粉、纤维素、木质素、糖、氨基酸、氮、磷、钾和微量元素等^[13]。预测植被冠层的氮、磷、钾、钙和镁等营养元素,是高光谱遥感生化组分研究的一个很重要内容。氮、磷、钾、钙和镁等大量营养素对植物生长和健康起着主导作用^[11]。

(2) 植物冠层生化元素的预测分析

为了减少独立于生化组分含量的光谱变量的影响, Kokaly^[12] 运用连续统去除法去处理短波红外区域(1 730, 2 100和 2 300 nm)的干叶片光谱的明显吸收特征, 并计算出与连续统相关的吸收波段深度, 重点关注运用连续统去除法增强的已知吸收谷。这种方法显示了氮含量与连续统去除和归一化的波段深度之间在 2 100 nm 光谱吸收特征处的 5 个位置有很强的相关性。对于预测植被大量营养元素的含量, 可应用前述的波段深度分析方法。

可根据已知生化组分的吸收特征来选择相应波段, 再运用逐步线性回归方法对所需波段作进一步选择。预测植被的生化组分时要依据植物的物种。植被生化组分含量随着物种的不同而不同, 干植被的含量要比鲜植被的含量低。可运用多元线性回归模型来预测不同物种的生化组分。

要了解在精选的吸收特征变量和生化组分之间建立的多元线性回归模型的预测能力, 可以把采样数据随机分成训练样本和测试样本两种数据集。根据数据集建立回归模型, 然后预测测试样本数据集的生化组分。

2.3 高光谱技术在非生物生态因素的应用(土壤有机质, 土壤水分等界面的应用)

高光谱遥感技术主要通过测量土壤光谱数据, 并进行微分等光谱处理, 用逐步回归的方法筛选一些对预测土壤中某成分含量重要的波段, 然后建立各种预测模型, 大大提高了土壤信息反演的深度和广度, 从而可以大面积、实时, 可用来评价土壤性质细微的差别可用于进行景观生态界面的非生物生态因素的描述。土壤光谱反射特性是土壤基本性质之一, 和土壤理化性质有密切的关系, 这种关系是土壤遥感技术的物理基础, 而且也为研究土壤本身的属性提供了一个新的途径和指标^[14]。

2.3.1 土壤含水量高光谱技术的预测

通常土壤水分的遥感监测主要从可见光-近红外、热红外及微波波段进行, 土壤水分的红外波段遥感和微波遥感是当前研究的主要热点。从可见光到近红外对土壤水分的估计一般是基于土壤湿度与反射率的关系。随土壤水分的增加土壤光谱反射率在整个波长范围内降低, 尤其在 760, 970, 1 190, 1 450, 1 940 和 2 950 nm 等水分吸收波段^[15, 16]。土壤水分含量与水分在吸收波段的吸收强度之间具有很好的线性相关关系^[17]。土壤表层水分用以下五种方法进行估测: (1)相对反射率法(仅使用一个波段), (2)反射率一阶微分法, (3)反射率倒数的对数一阶微分法, (4)与(5)主要应用两个波段的反射率的差值与反射率倒数的对数的差值^[18]。

2.3.2 土壤有机质含量高光谱技术的预测

土壤有机质含量和有机质组成对土壤反射率有着强烈的

影响。土壤有机质含量与整个可见光波段的反射率、0.62~0.66 μm 的反射率呈高度负相关(幂函数关系)^[14]。对比去除有机质前后土壤的反射率表明, 去除有机质后的土壤, 反射率明显增加, 特别是在 0.4~1.1 μm 范围内, 差距最大值在 0.6 μm 左右。Krishnan 等的研究表明, 在近红外波长范围 0.8~2.4 μm 没有发现因土壤有机质存在而引起的吸收峰; 对预测土壤有机质含量, 可见光光谱区域比近红外波长区域更实用, 最佳的波段为 0.62 和 0.56 μm ^[19]。

2.3.3 基于高光谱数据的土壤定量分析

高光谱影像立方体可用于精确识别地物类型和定量反演地物属性。Ben-dor 等应用 VNIR 分析法成功地使用 DAIS-7915 高光谱数据制作了土壤有机质和盐分的专题图^[20]。Chabrilat 等应用 AVIRIS 和 HyMaps 两种空载高光谱数据对裸露膨胀土进行了识别和灾害评估, 同时发现高空间分辨率有利于端元的识别, 但不能增加新的端元类型^[21]。Yang 等采用决策树算法对不同土壤肥力状况的高光谱特征进行了分析和识别^[22]。Ben-dor 从 AISA 高光谱数据中提取了用于分析渗透率的土壤属性参数^[23]。Bajwa 等建立了土壤 PH、OM、Ca 等肥力因子的高光谱 PLSR 模型^[24]。Ben-Dor 等应用 CASI 高光谱数据制作红化土壤的空间分布图, 用于分析土壤红化过程^[25]。Selige 等建立了 HyMaps 的土壤有机质和质地的多元回归模型, 制图成果可用于土壤精细管理^[26]。

高光谱成像技术在土壤学领域仍然处于探索与初级应用阶段, 但高光谱分辨率遥感观测地物连续光谱比较真实, 能反映各种土壤所固有的光谱特性及差异。提高了土壤信息反演的深度和广度。随着现代科学技术的发展, 高光谱分辨率遥感这一高新技术将在生态界面研究发挥越来越大的作用。

3 展 望

高光谱遥感在其他领域中远不及上述两个领域中那么广泛, 但其具有非常高的光谱分辨率, 不仅可以探测到常规遥感更精细的地物信息, 而且也能探测到更精细的大气吸收特征。大气的分子和粒子成分在反射光谱波段反映强烈, 能够被高光谱仪器监测, 高光谱遥感技术在大气研究中的突出应用是云盖制图, 云顶高度与云层状态参数估算, 大气水汽含量与分布估算, 气溶胶含量估计与大气光学特性评价^[27] 同样具有广阔的应用前景, 也是以后研究的重点方向。这些潜在研究领域包括大气遥感, 对水蒸气、云、气溶胶的分析与探测, 水文遥感、冰雪遥感、灾害调查等等, 传统的遥感手段所无法涉及的领域和应用方向, 高光谱遥感却有着巨大的应用价值, 这些都有利于了解农牧交错带的地区特殊气候变化的研究。

参 考 文 献

- [1] Fortin M J, Ferson S, Iverson L. *Landscape Ecology*, 2000, 15(5): 453.
- [2] Gose J R, *Ecological Application*, 1993, 3: 369.
- [3] Fortin M J, Jacquaz G M. *Oikos*, 1996, 77(1): 51.
- [4] Fortin M J. *Ecology*, 1994, 75: 956.
- [5] Fortin M J. *Oikos*, 1995, 72(3): 323.

- [6] DONG Dao-yi, HAN Hui(龚道溢, 韩 晖). *Acta Geographica Sinica(地理学报)*, 2004, 59: 230.
- [7] WANG Kun(王 堃). *Acta Agrestia Sinica(草地学报)*, 2000, 8: 267.
- [8] PU Rui-liang, GONG Peng(浦瑞良, 宫 鹏). *Theory and Application of Hyperspectral Remote Sensing(高光谱遥感及其应用)*. Beijing: Higher Education Press(北京: 高等教育出版社), 2000. 52.
- [9] GUO Shi-de(郭仕德). *Science of Surveying and Mapping(测绘科学)*, 2005, 30: 35.
- [10] YANG Ke-ming, GUO Da-zhi, CHEN Yun-hao(杨可明, 郭达志, 陈云浩). *Computer Engineering and Application(计算机工程与应用)*, 2006, 42(31): 213.
- [11] Mutanga O, Prins H H T. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 89: 393.
- [12] Kokaly R F. *Remote Sensing of Environment*, 1999, 67: 437.
- [13] ZHAO De-hua, GU Jian-long(赵德化, 顾建龙). *Advance in Earth Sciences(地球科学进展)*, 2003, 18: 94.
- [14] GAO Yong-guang, HU Zhen-qi(高永光, 胡振琪). *Mining Research and Development(矿业研究与开发)*, 2006, 26: 44.
- [15] Browsers S A. *Soil Science*, 1965, 100: 130.
- [16] Stone E R. *Soil Science Society of American Journal*, 1981, 45: 1161.
- [17] Liu W D, Gu X F. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 81: 238.
- [18] LIU Wei-dong, ZHANG Bing(刘伟东, 张 兵). *Acta Pedologica Sinica(土壤学报)*, 2004, 41: 700.
- [19] Krishnan P. *Soil Science Society of American Journal*, 1980, 44: 1282.
- [20] Ben-Dor E, Banin A. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23: 1043.
- [21] Chabrillat S, Krosley L. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 82: 431.
- [22] Yang C C, Whalen J. *Biosystem Engineering*, 2002, 83: 291.
- [23] Ben-Dor E, Braun O. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, 25: 2607.
- [24] Bajwa S G. *Transaction of the ASAE*, 2005, 48: 2399.
- [25] Ben-Dor E, Singer A. *Geoderma*, 2006, 131: 1.
- [26] Selige T, Schmidhalter U. *Geoderma*, 2006, 136: 235.
- [27] Bruegge C J, et al. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 1992, 97(D17): 18759.

Application of Hyperspectral Remote Sensing in Research on Ecological Boundary in North Farming-Pasturing Transition in China

WANG Hong-mei^{1,2}, WANG Kun^{1*}, XIE Ying-zhong²

1. Institute of Grassland Science, College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100094, China
2. Institute of Grassland Science, Ningxia University, Yinchuan 750021, China

Abstract Studies of ecological boundaries are important and have become a rapidly evolving part of contemporary ecology. The ecotones are dynamic and play several functional roles in ecosystem dynamics, and the changes in their locations can be used as an indicator of environment changes, and for these reasons, ecotones have recently become a focus of investigation of landscape ecology and global climate change. As the interest in ecotone increases, there is an increased need for formal techniques to detect it. Hence, to better study and understand the functional roles and dynamics of ecotones in ecosystem, we need quantitative methods to characterize them. In the semi-arid region of northern China, there exists a farming-pasturing transition resulting from grassland reclamation and deforestation. With the fragmentation of grassland landscape, the structure and function of the grassland ecosystem are changing. Given this perspective; new-image processing approaches are needed to focus on transition themselves. Hyperspectral remote sensing data, compared with wide-band remote sensing data, has the advantage of high spectral resolution. Hyperspectral remote sensing can be used to visualize transitional zones and to detect ecotone based on surface properties (e. g. vegetation, soil type, and soil moisture etc). In this paper, the methods of hyperspectral remote sensing information processing, spectral analysis and its application in detecting the vegetation classifications, vegetation growth state, estimating the canopy biochemical characteristics, soil moisture, soil organic matter etc are reviewed in detail. Finally the paper involves further application of hyperspectral remote sensing information in research on local climate in ecological boundary in north farming-pasturing transition in China.

Keywords Hyperspectral remote sensing; Agro-pasturing transition; Ecological boundary; Vegetation; Soil

* Corresponding author

(Received May 10, 2008; accepted Aug. 20, 2008)