

遥感技术在中国土地荒漠化监测中的应用进展

李亚云^{1,2} 杨秀春³ 朱晓华¹ 徐 斌³

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;
3. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘 要:土地荒漠化已成为一个全球性的重大环境问题,也是我国面临的严重生态环境问题。遥感技术以其信息量大、获取速度快、覆盖范围广、受人力物力的限制小等优点,在过去的 30 多年中,已逐渐成为土地荒漠化监测的重要数据来源和技术手段。本文首先概述了土地荒漠化遥感监测中使用的遥感数据源,综述了各类卫星遥感影像、影像的不同季相、波段和各类植被指数的选择等;讨论了土地荒漠化信息遥感提取的多种方法,综合比较不同遥感提取方法的优缺点,进而分析土地荒漠化遥感监测中多采用计算机自动分类与人工手动分类结合的原因。最后,指出遥感技术在土地荒漠化监测中存在的一些问题,并提出土地荒漠化遥感监测中综合指标与综合方法集成研究等发展方向。

关 键 词:土地荒漠化监测;遥感技术;应用;进展

1 引言

土地荒漠化是指包括气候变异和人类活动在内的种种因素造成的干旱、半干旱和亚湿润干旱地区的土地退化^[1]。2007 年 6 月在上海举行的“中国治理荒漠化上海高峰论坛”中明确指出:根据联合国公布的最新数据,全世界现有占 2/3 (110 个)的国家和地区,1/6 (10×10^8) 的人口,1/3 的陆地面积受到荒漠化的威胁,荒漠化正以每年 $(5 \sim 7) \times 10^4 \text{ km}^2$ 的速度扩展,每年因荒漠化造成的直接经济损失达 423×10^8 美元^[2]。我国是世界上荒漠化面积最大、受影响人口最多、危害程度最严重的国家之一,2005 年 6 月国家林业局关于“中国荒漠化和沙化状况公报”显示:截至 2004 年,全国荒漠化土地总面积为 $263.62 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占国土总面积的 27.46%^[3]。

土地荒漠化具有发生范围广、面积大的特点,因此,使用人工地面进行普查的方法,具有很大的局限性。20 世纪 70 年代,国外开始使用遥感技术进行土地荒漠化的监测,如:阿根廷完全基于遥感手段对土地荒漠化的状态进行了评估^[4];Tripathy 等利用 MSS 和印度资源卫星 (IRS) 数据,对印度古尔伯加的土地荒漠化进行了评价^[5];Michael 等应用遥

感技术,结合土地荒漠化的理论,通过对荒漠化动态变化规律的监测,编制土地退化野外调查手册^[6]。我国从 20 世纪 70 年代开始利用国外卫星数据进行资源调查和灾害、环境的监测;80 年代初期开始运用遥感技术进行有关土地荒漠化的资源调查。朱震达等用 1975 年的航片和 1987–1988 年的 TM 影像对科尔沁地区沙漠化动态进行了研究^[7]。此外,1984–1986 年,水利部遥感中心组织了全国土壤侵蚀调查,采用遥感方法对全国包括风蚀、水蚀和冻融在内的土壤侵蚀状况进行了调查^[8]。此后,遥感技术在土地荒漠化监测中逐渐得到广泛应用。

及时、准确地掌握土地荒漠化发生、发展情况,是有效防止和治理土地荒漠化的基本前提。目前遥感技术在土地荒漠化监测中起到了不可替代的作用,但也存在一些问题。随着遥感数据时空分辨率的提高、数据共享性的增加以及遥感信息处理技术的进一步发展,其在土地荒漠化监测中的应用将更加客观、科学和可靠。本文从土地荒漠化遥感监测的数据源选取和遥感手段提取土地荒漠化信息的方法两大方面,对遥感技术在土地荒漠化监测中的应用进行必要的综述,进而综合比较不同提取方法的优缺点,以期明确存在问题及进一步研究方向。

收稿日期:2008–09; 修订日期:2008–12。

基金项目:国家自然科学基金项目 (40701055)。

作者简介:李亚云 (1982–), 女, 浙江绍兴人, 硕士生, 主要从事遥感、GIS 应用与土地荒漠化研究。E-mail:liyy.06s@igsnrr.ac.cn

通讯作者:杨秀春, 博士, 副研究员。E-mail:ycx0922@126.com

2 土地荒漠化遥感监测的数据源选取

2.1 遥感卫星数据源的选取

2.1.1 不同遥感卫星影像的应用

20 世纪 70 年代, 国外开始利用遥感技术进行土地荒漠化研究, 最早使用的数据源主要是高分辨率航空影像。但由于航空遥感信息获取费用昂贵, 周期性差, 从信息获取到专题信息入库的流程复杂, 因而不利于发挥遥感信息所具有的动态性和现势性的优势, 只适用于建立精确的监测指标体系和对典型地区荒漠化土地的定量分析, 进行小范围的荒漠化监测。查勇、王建、Li 等人使用 20 世纪 50–70 年代的航片, 对土地荒漠化动态变化的情况进行监测^[9–11]。

1970 年美国发射第一颗 NOAA 极轨气象卫星, 至 1979 年发射 NOAA-6, 卫星上携带 AVHRR 改进型甚高分辨率辐射仪等 5 种遥感器; 80 年代以后, NOAA/AVHRR 数据在荒漠化研究中逐渐起到了重要的作用。李宝林等利用 NOAA/AVHRR 数据, 对东北平原西部沙地 1990–1997 年间的沙质荒漠化的发展过程进行了动态监测^[12]; 刘爱霞等利用 1982–2000 年的 NOAA/AVHRR 10 天合成时间序列数据, 对中国西部干旱半干旱区的沙漠边缘及荒漠化多年动态变化进行了分析^[13]。

1972 年美国发射陆地资源卫星 (Landsat-1) 以后, MSS、TM、ETM 数据相继推出, 这些卫星影像, 特别是 TM 和 ETM 影像数据, 以其空间分辨率高的优势, 很快获得广泛应用, 不少研究者使用 MSS/TM/ETM 进行了土地荒漠化监测研究^[14–24]。20 世纪 80 年代以来, 随着航天遥感技术的进一步发展, 遥感数据源更加丰富, 方法日趋成熟, SPOT、IKONOS、俄罗斯的 Kosmos-1939, 印度的 IRS-1A 和 IRS-1B 等卫星影像数据也被用于荒漠化研究中^[25], 而最常用的数据源仍然是美国的 Landsat 卫星影像数据。

1999 年, 美国成功地发射了地球观测卫星 (EOS) 的第一颗极地轨道环境卫星, 此后, MODIS 数据逐渐在全球开展应用。MODIS 数据以其波段范围广 (36 个波段)、空间分辨率高 (1000m、500m 和 250m, 比 NOAA/AVHRR 有了很大的提高) 等优点, 特别是 NASA 对全球免费提供自 2000 年以来的 NDVI 等数据产品, 在土地荒漠化监测中得到广泛运用。林年丰等应用 MODIS 数据对松嫩平原的荒漠化问题进行了研究^[26]; 杨昕等利用 MODIS 数据,

对内蒙古锡林郭勒草场荒漠化的监测方法进行了研究^[27]。

我国与巴西联合研制的第一代传输型资源遥感卫星——中巴地球资源卫星 (CBERS-01) 于 1999 年发射, 从此, 中国有了自己的卫星。为了支持和推广资源卫星的应用, 陈建平选择了 CBERS-01 的 CCD4、3、2 与 TM 影像一起进行北京及邻区 1987–2000 年的荒漠化研究^[28]; 丁峰、陈绍辉等使用经过几何纠正和数据增强等处理的 CBERS-1 数据, 对甘肃省河西走廊东部的古浪县土地荒漠化进行监测, 取得了满意的效果^[29–31]。

2.1.2 各种数据源的优缺点及解决办法

各种数据源都有其独特的优势, 也存在一定的不足, 因此, 综合运用多种数据源成为取长补短、更好地监测荒漠化的一种有效手段, 如: 杨萍等结合黑白航空像片、彩红外航空像片、MSS 影像和 TM 影像, 对西藏自治区进行了沙漠化普查工作, 为沙漠化防治和监测工作提供了准确的数据基础^[32]; 丁建丽等用不同时期的 MSS、TM 和 SPOT-HRV 影像对塔里木盆地南缘绿洲策勒县的土地荒漠化进行了动态变化研究^[33]; 高会军等运用 MSS 与 ETM 数据对我国北方沙质荒漠化土地动态变化进行遥感分析^[34]; 陈建平等结合 TM 与 CBERS 数据对北京以及邻区土地荒漠化进行了动态分析^[28]; Liu 等使用 TM、ETM 和 CBERS 数据对浑善达克沙地的沙质荒漠化进行监测^[35]; 汪潇等基于 ASTER、SPOT、TM、MODIS 产品及野外调查数据, 对新疆艾比湖地区 2000 年 8 月–2004 年 8 月的土地退化状况进行了评价^[36]。

目前使用的遥感数据源大多是光学遥感, 微波遥感在土地荒漠化监测研究中的应用尚不多见, 这是因为土地荒漠化的发生发展是一个相对缓慢的过程, 对数据的实时性要求并不是很高, 因此, 可以从光学遥感影像中选择晴朗无云天气的影像进行分析。

2.2 遥感影像波段和季相的选择

土地荒漠化监测指标与植被生长状况密切相关, 而植被生长状况又与植被的生长季节存在密切的联系, 因此, 在用遥感影像进行荒漠化信息提取时, 选择最佳季相的遥感影像是成功提取荒漠化信息的关键。选择高质量影像的原则为: 信息含量大, 即类间方差大; 需要重点监测的地物色调突出。冬季植被生长状况不好, 降水少, 地物色调比较单调;

夏季植被生长最为茂盛,根据植被盖度可对荒漠化土地进行程度分级,但农作物与树林灌木处于生长旺季,茂密的农作物容易与林地混淆,所以一般应选择秋季或春季的遥感影像作为监测荒漠化的数据。很多研究者在用 TM/ETM 或 CBERS 等影像数据进行土地荒漠化监测研究时,选择秋季或春季的影像^[28,37,38]。

土地荒漠化遥感信息提取是基于光谱特征的,因此,选取合适的波段组合,有利于荒漠化信息的正确提取。在目前的监测研究中,通常选用标准假彩色合成,即对于光谱波段的近红外通道、红光通道和绿光通道分别赋予红、绿、蓝三色,在这种合成方案中,植被是红色的,因为人眼对红色最敏感,能分辨红色的色阶最多,对土地荒漠化信息的识别也最强。吴薇等使用 TM4、3、2 合成影像进行土地荒漠化信息提取,认为这种波段组合对植被生长状况反映最好,因为 TM4 反映不同荒漠化程度的土地上的植被特点, TM3 波段反映沙质土壤的较高亮度和盐渍化土地的白化现象, TM2 对植被的反射敏感,能区分林型、树种^[39];陈建平使用 TM4、3、2 和 CBERS4、3、2 波段合成影像进行北京以及邻区土地荒漠化信息提取^[28];张玉贵等选取 TM4、5、3 进行合成,因为 TM5 反映荒漠化土地的干旱、下湿地、沼泽化土地等的水分含量,认为这种合成方案除林木及农作物为具有强烈对比的红色调外,其他地物基本与自然色调一致^[17];戴琳娜选取 TM7、4、3 合成影像作为辽西北地区荒漠化遥感信息提取信息源^[40]。

选择最佳季相和最佳波段的影像进行土地荒漠化监测,是就 MSS/TM/ETM、SPOT/CBERS 和 IKONOS 等高空间分辨率影像而言的。对于 NOAA/AVHRR 和 MODIS 等具有长时间序列的影像数据,利用其具有长时间序列的优势,采用 16 天或 8 天 NDVI/EVI 最大值合成影像,可以得到丰富的植被信息,从而有利于荒漠化信息的提取。因此,对于 NOAA/AVHRR 和 MODIS 影像的最佳季相和最佳波段选择的研究,目前尚不多见。

2.3 植被指数的选取

土地荒漠化的本质特征是土地生产力的降低。土地生产力可以用植被盖度来表达,植被指数反映了光谱响应与植被盖度之间的近似关系,植被指数的变化可以完全表达土地生产力的变化过程,因此可利用植被指数作为荒漠化监测的一个重要指标。

20 世纪 70 年代,国外开始利用卫星遥感进行

荒漠化监测研究时,人们多用植被指数所反映的土地退化来表示荒漠化以及土壤盐渍化所反映的荒漠化^[41]。20 多年来,已发展了 40 多个植被指数^[42],各有优势和局限性,其中应用最广泛的是归一化植被指数(NDVI),特别是由于 NASA 提供了自 1980 年以来的 8km 的 NOAA/AVHRR 的 NDVI 数据以及部分年代的 1km 的 NDVI 数据,和自 2000 年以来的 MODIS 的 1km、500m 和 250m 的 NDVI 数据,这些数据对全球免费开放,可以方便地获取并使用,因此 NDVI 得到更加广泛的应用^[13,26,27,43,44]。王澄海等用 NDVI 作为描述荒漠化的指标,定性地讨论我国荒漠化与干草原区近 10 年的变化,结果表明,NDVI 可以用来作为荒漠化特征的指标^[45]。

但是,由于 NDVI 对低密度植被表达误差较大,而荒漠化土地往往植被覆盖较低,因此在进行荒漠化监测中,NDVI 也具有一定的局限性。如何提高遥感探测低盖度和生物量的能力是干旱地区植被遥感面临的一个重要问题^[46]。一些研究者采用土壤调整植被指数 MSAVI (Modified Soil Adjusted Vegetation Index)来消除土壤的影响,旨在更准确地反映地表植被状况^[12,47,48];还有研究者用改进的增强型植被指数 EVI 来进行荒漠化监测分布制图^[49],它可以同时减少来自大气和土壤噪音的影响^[50];林年丰等通过计算归一化植被指数和植被覆盖指数,反演求得荒漠化指数(DI),得到松嫩平原荒漠化面积,取得了很好的研究结果^[26];宫恒瑞用数字植被盖度模型(DVCM)提取新疆艾比湖地区的土地荒漠化信息^[51]。

单一根据植被指数难以准确地监测土地荒漠化的情况,因而不少研究者将植被指数与气象、地形等多种数据源结合,共同运用于土地荒漠化监测中;Dallolmo 等利用 NDVI 和 LST (Land Surface Temperatures)两个指标,通过其差值来分析沙区生态系统^[52];杜明义等将数字高程模型(DEM)和植被指数(NDVI)与原始遥感图像进行了信息融合,从而大大丰富了遥感图像的荒漠化信息,取得了非常好的效果,分类精度达到 90% 以上^[53];刘爱霞等使用 MSAVI、反照率、路面温度、植被覆盖度和土壤湿度 5 个指标中 1~5 个指标分别组合进行试验,结果表明,当 5 个指标全部参与分类时,分类精度最高^[54]。

总的说来,各种植被指数各有优缺点,目前尚缺少直接指示土地荒漠化的发生、发展状况的植被指数或植被指数模型。

3 土地荒漠化信息遥感提取方法

使用遥感影像数据可以提取土地荒漠化信息,通过遥感影像所表现的不同信息,可以判断土地荒漠化的发生与否以及发展程度等。在进行土地荒漠化信息提取时,常用的方法有人工目视解译方法、监督分类方法、非监督分类方法、决策树分层分类方法、神经网络自动提取方法等,在实际应用中,通常选择其中的一种或结合几种方法进行分类提取。

3.1 人工目视解译方法

人工目视解译是指专业人员通过直接观察或借助判读仪器在遥感图像上获取特定地物信息的过程,可以分为纸质像片目视解译方法和计算机屏幕解译方法两种。早期的人工目视解译采用前者。随着计算机硬件和软件技术迅速提高,计算机屏幕解译表现出纸质影像目视解译不可比拟的优点。从目前已有的研究来看,许多研究者使用人工目视解译进行土地荒漠化信息提取:中科院沙漠所于上世纪八十年代由目视解译首次绘制成 1:50 万科尔沁沙地荒漠化图;张玉贵等利用 TM 影像,使用计算机屏幕解译方法对科尔沁沙地土地荒漠化进行监测,制作了 1:20 万科尔沁沙地荒漠化土地分类影像地图^[17];陈建平等使用 TM 影像和 CBERS 卫星 CCD 相机的 3、4、2 波段假彩色合成图像,通过建立解译标志,人工目视解译得到北京及邻区土地荒漠化分布数据和动态演化趋势结果^[28]。

3.2 监督分类方法

监督分类,又称训练场地法,是利用地面样区的实况调查资料,从已知训练样区得出实际地物的统计资料,再用统计资料作为图像分类的判别依据,并依一定的判别准则对所有图像像元进行判别处理,使具有相似特征并满足一定识别规则的像元归并为一类。使用监督分类进行土地荒漠化信息提取相比目视解译可大大减少工作量,因为目视解译是对整个图像的人工目视判别,而监督分类只需在分类前定义训练样本(training classes),以此作为图像分类的判别依据,剩下的像元识别工作由已经定义好的计算机算法进行自动分类。监督分类方法是目前遥感分类中应用较多、算法较为成熟的分类方法之一,常见的监督分类方法有最小距离法、平行六面体法、特征窗口曲线法、最大似然法等。Li Fang 等使用监督分类方法对 1986—2000 年吉林省西部土地荒漠化进行了监测和驱动力分析^[5]。

3.3 非监督分类方法

非监督分类是对主体分级在事先没有主体内容或归属关系的情况下,用像素的灰度值进行演算来识别,它是由像素的光谱特征,在一个多维标志空间的集群构成。与人工目视解译和监督分类方法相比,非监督分类所需人工投入工作量更小,解译速度更快,但是非监督分类仅仅是利用图像像元的灰度值进行计算,其结果只是对地物光谱特征分布规律的分类,而不能确定类别的属性,并且难以解决“同物异谱”和“异物同谱”的问题。而土地荒漠化监测中,特别是不同原因形成的不同类型的荒漠化,其地表特征复杂,难以简单通过地物灰度值计算识别出不同类型的土地荒漠化。

因此,在已有研究中,仅使用非监督分类进行土地荒漠化信息提取的相对较少。毛晓利等用非监督分类对毛乌素沙漠南部边缘的定边县的土地沙漠化进行了动态监测^[56];Li 等用非监督分类方法结合人机交互对海南岛西部的荒漠化进行了监测^[11]。

3.4 决策树分层分类方法

决策树是遥感图像分类中的一种分层次处理结构,适用于下垫面地物复杂并模糊的状况。其基本思想是逐步从原始影像中分离并掩膜每一种目标作为一个图层或树枝,避免此目标对其他目标提取时造成干扰及影响,最终复合所有的图层以实现图像的自动分类,由此可以应用各种有效的分类技术,在每一次分类过程中,只需要对一种地物进行识别,从而提高分类精度。王建等使用决策树分层分类方法对甘肃省民勤县绿洲进行荒漠化信息提取,先将土地类型分成荒漠化与非荒漠化两大类,然后对荒漠化土地根据不同的成因分成风蚀荒漠化土地、盐渍荒漠化土地和水蚀荒漠化土地 3 小类,最后对不同类型的荒漠化土地划分为 2~4 个等级,结果表明利用决策树分层提取法可以有效地排除和避免提取地物时所有多余信息的干扰^[57];杜明义等利用 1999 年 TM 影像数据,采用决策树方法,从类型和强度两个方面,对阜新地区土地荒漠化进行了分类,在荒漠化程度分级上统一采用轻度、中度和重度 3 个等级^[58]。

3.5 人工神经网络分类方法

人工神经网络,简称神经网络,这个概念在 20 世纪 40 年代中期提出,70 年代开始应用,80 年代以来随着计算机技术的发展得到迅速发展,1988 年应用于遥感图像分类。神经网络分类是一种非线性

分类方法,具有强抗干扰、高容错性、并行分布式处理、自组织学习和分类精度高等特点。它除了以其神经计算能力进行低层次图像视觉识别外,其非符号的连接主义的知识处理能力使其能与地学知识、地理信息和遥感信息互相融合,来完成深层影像理解及空间决策分析,近年来在遥感研究中得到了广泛的应用^[59]。

使用神经网络分类方法进行土地荒漠化监测时,所需人工工作量小,人工在分类中所需的工作是选择对土地荒漠化有影响的因素作为输入层,然后利用已有的土地荒漠化信息数据对神经网络进行训练,用训练样本对神经网络进行调整,调整后的神经网络可用于整个研究区的土地荒漠化监测。这种方法中,人工主观判断土地荒漠化的内容较少,因此,受人为影响因素较小,而且需要人工的工作量较小。

用神经网络方法进行荒漠化信息的提取,有一些研究者进行了尝试,并且得到了很好效果,如:杜明义等采用基于径向基函数的神经网络分类模型进行土地荒漠化分类,分类精度达到 90% 以上^[52];乔平林等以甘肃民勤县地区土地荒漠化分布信息为训练样本,用神经网络方法提取荒漠化土地,网络的输出精度达到 96%,并将训练结果应用于内蒙古境内克什克腾旗西北部地区,得到土地荒漠化信息提取的精度为 84%^[60]。

3.6 各种提取方法的综合比较

目视解译工作量大,解译速度慢,解译者需要对土地荒漠化的遥感影像表现有深刻的认识,特别是对于不同程度的土地荒漠化,用人眼目视判别在量化上存在较大困难。如果是由不同解译者来对同一区域进行解译,则会出现很大的差异。随着遥感技术的进一步发展和人们对土地荒漠化的进一步认识,土地荒漠化信息提取更多地可以通过计算机自动提取的方法来实现,人工在提取过程中投入的工作量将越来越小。

相对人工目视解译而言,监督分类方法所需人工工作量小,分类速度快,但是,监督分类对训练区及其样本选择要求非常严格,训练样本选择的像元不纯,会导致分类结果混淆,地形起伏较大的地区尤其会产生混分现象。由于土地荒漠化类型和程度不同,分类系统比较复杂,因此在选取训练区时有很大困难。

非监督分类方法在土地荒漠化解译中有较大

的局限性,特别是山区土地荒漠化监测中,由于地面覆盖复杂,地形影响严重,用非监督分类会产生较多的混淆,分类精度低^[18]。

决策树分层分类是人工与计算机逐步交互进行分类的方法,相比以上 3 种方法,它除了能够使用遥感影像所反映的地面信息外,还能够将影响土地荒漠化的各种因素(例如:气温、降水、风速等自然因素和人口、牲畜数量等社会经济因素)都引入到决策树中,共同参与分类,这样能综合考虑各种因素的影响,更加客观、准确地监测土地荒漠化。但是,该方法解译结果的精度很大程度上取决于建立的决策树的优劣,因为它要求解译者不仅了解不同类型和不同程度的荒漠化土地在影像上的表现,而且掌握自然条件、社会经济条件等方面的因素对土地荒漠化的影响。神经网络具有隐含层,所以该方法存在一定的内在模糊性,而且由于计算复杂,运算时间相对较长。

因此,在进行土地荒漠化监测中,通常采用计算机自动分类与人工目视解译相结合的方法,一方面通过自动分类减少解译工作量,另一方面,通过人工目视解译提高分类精度。

4 土地荒漠化监测结果的精度验证

土地荒漠化遥感监测结果的精度验证,也是土地荒漠化监测的一个关键性问题。由于荒漠化土地类型的自动识别和分类在精度上还未能达到所需要的水平且需要地物光谱库的辅助^[61,62],因此,在用计算机自动提取土地荒漠化信息中,需要用人工目视解译方法对荒漠化土地类型进行识别^[10]。

精度验证多采用实地验证的方法^[63]。先找出需要野外检查验证的点,确定野外考察验证路线,通过实地调研与遥感解译结果的比对,确认遥感解译标志是否可靠,进而计算荒漠化土地类型的提取正确率是否符合要求。

5 应用遥感技术进行土地荒漠化监测存在的问题

遥感在土地荒漠化监测中应用的 30 多年以来,在技术上和方法上均取得了很大进步,但是也存在一些问题:

(1)卫星遥感数据融合及数据共享性问题:对于

不同尺度的研究区,应选择不同尺度的卫星影像数据。有时对于同一区域的研究,由于数据条件的限制,只能使用不同分辨率的卫星影像数据,这时,对于不同尺度数据进行融合就显得非常重要。而目前,不同尺度数据融合在土地荒漠化监测中的应用还不多见。对于相对较小的研究区域来说,陆地卫星 MSS/TM/ETM 和 SPOT 卫星 HRV 数据等具有较高的空间分辨率,可以满足土地荒漠化信息提取的要求,但是其不提供网络共享,获取图像的价格较高,而要使用某研究区域多时相的数据来监测土地荒漠化,所需影像数据多,费用更高;对于相对较大的研究区来说,MODIS 的空间分辨率即能满足其要求,但 MODIS 数据是只有 2000 年以后的;AVHRR HRPT 数据从 1985 年开始,但是该数据目前尚未提供共享。AVHRR GAC 数据提供共享,但是其空间分辨率为 $8\text{km} \times 8\text{km}$,对于大区域土地荒漠化监测来说,该数据空间分辨率仍然太粗,因此在土地荒漠化监测中适用性不高。如何获取空间分辨率、价格两个因素都适合的遥感数据,是相关研究中不可回避的重要问题之一。

(2)植被指数的问题:目前已经发展了很多植被指数用于土地荒漠化信息的提取,但是由于荒漠化地区植被生长较差,因此在提取上存在一些困难,并且目前所用的植被指数都是表达植被生长状况的,还没有一个指数能直接指示土地荒漠化的发生与否及发展程度。

(3)土地荒漠化遥感信息提取方法的问题:目视解译是土地荒漠化信息提取中常用的方法,其提取精度也很高,但是需人工投入的工作量太大;而其他各种计算机自动提取的方法,则难以解决“同物异谱”和“异物同谱”问题。

6 展望

(1)土地荒漠化分类体系的完善:目前已有的土地荒漠化分类系统复杂,划分类型和划分方法各异,没有形成统一的划分标准,增加了遥感监测的困难。因此,随着土地荒漠化理论研究的深入,荒漠化分类体系的完善,遥感监测技术也将得到发展。(2)开展不同尺度遥感数据的综合研究:利用中低分辨率的遥感数据可以获取大范围、大尺度上的土地荒漠化背景信息,并能够识别出土地荒漠化的重点区域;针对荒漠化的重点区域,利用更高分辨率的

遥感数据进行更详细的土地荒漠化信息提取。目前有关这方面的研究尚缺乏,因此,开展不同尺度遥感数据的综合研究将是未来发展的一个可能方向。(3)土地荒漠化遥感信息提取方法研究:现有的遥感提取方法各有优缺点,针对特定的区域,没有特定的最优监测方法。计算机自动分类方法,特别是决策树分层分类方法和人工神经网络提取方法具有很好的发展潜力,今后可以把遥感地物识别的专家知识库引入这些分类方法中,结合纹理信息,消除“同物异谱”和“异物同谱”的影响,进行土地荒漠化信息提取。(4)综合指标与综合方法的集成:遥感技术应用于土地荒漠化监测经历了 30 多年的发展,其中也不乏好的指标和好的方法,但是没有将这些好的方法与指标组合起来进行研究,例如:利用植被指数提取土地荒漠化信息,植被指数能反映地表植被覆盖的情况,随着研究的深入,增加水分、土壤等气候环境因子和高程、坡度等地形因子等数据,应发展能更好地表达土地荒漠化的发生、发展状况的土地荒漠化指数模型,这个模型或这类模型应能很好地反映土地荒漠化的状况。因此,综合指标与综合方法的集成,是当前也是未来土地荒漠化监测的一个重要研究方向。

致谢:中国科学院地理科学与资源研究所申元村研究员在本论文的写作中给予指导和帮助,在此表示诚挚感谢!

参考文献

- [1] UNCCD. United Nations convention to combat desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification particularly in Africa. Paris, 1994. <http://www.unccd.int/convention/text/convention.php>.
- [2] 伸出你的手荒漠变绿洲——2007 中国治理荒漠化上海高峰论坛.中国绿色画报,2007,(7):6~57.
- [3] 《第三次全国荒漠化和沙化监测报告》编写组.我国荒漠化和沙化状况及动态变化分析//朱列克主编.中国荒漠化和沙化动态研究.北京:中国农业出版社,2005.5~13.
- [4] Valle H F Del, Elisalde N O, Gagliardini D A, et al. Status of desertification in the Patagonian Region: Assessment and mapping from satellite imagery. Arid Soil Research and Rehabilitations, 1998,12: 95~121.
- [5] Tripathy G K, Ghosh T K, Shah S D. Monitoring of desertification process in Karnataka state of India using multi-temporal remote sensing and ancillary information using GIS. International Journal of Remote Sensing, 1996,17(12):2243~2257.
- [6] Michael S, Niamb M. Handbook for the Field Assessment of Land Degradation. Earthscan Publications Ltd. UK and USA, 2001.

- [7] 朱震达, 刘恕. 中国北方地区的沙漠化过程及其治理区划. 北京:中国林业出版社, 1981.
- [8] 钟劭南. 水利遥感的应用现状与未来. 中国航天, 1999, 9: 8~12.
- [9] 查勇, 高家庆, 倪绍祥等. 遥感技术在荒漠化监测中的应用——以陕西榆林市芹河乡为例. 中国沙漠, 1997, 17(3): 286~290.
- [10] 王建, 李文君, 宋冬梅等. 近 30 年来民勤县土地荒漠化变化遥感分析. 遥感学报, 2004, 8(3): 282~288.
- [11] Li S, Zheng Y, Luo P, et al. Desertification in western Hainan Island, China. Land Degradation & Development, 2007, 18: 473~485.
- [12] 李宝林, 周成虎. 东北平原西部沙地沙质荒漠化的遥感监测研究. 遥感学报, 2002, 6(2): 117~122.
- [13] 刘爱霞, 王长耀, 刘正军等. 基于 NOAA 时间序列数据分析的中国西部荒漠化监测. 武汉大学学报 (信息科学版), 2004, 29(10): 924~927.
- [14] 王铁成, 刘兴文. 利用 TM 图像提取土地荒漠化信息的方法与效果——以阜康地区为例. 遥感技术与应用, 1994, 9(1): 34~41.
- [15] 董得红. TM 卫星影像图在荒漠化土地普查与监测中的应用. 林业资源管理, 1996, (6): 72~74.
- [16] 马立鹏, 韩光庆, 李源. TM 影像在河西地区荒漠化土地调查中的应用. 中国沙漠, 1996, 16(4): 401~406.
- [17] 张玉贵, F R Beernaert, 刘华. TM 影像的计算机屏幕解译和荒漠化监测. 林业科学研究, 1998, 11(6): 599~606.
- [18] 范建容, 刘淑珍. 遥感技术在山区土地荒漠化评价中的应用——以东川市为例. 山地学报, 1999, 17(1): 40~44.
- [19] 沙占江, 曾永年, 马海州等. 遥感与 GIS 支持下的龙羊峡库区土地沙漠化动态研究. 中国沙漠, 2000, 20(1): 51~54.
- [20] 乌兰图雅, 阿拉腾图雅, 长安等. 遥感、GIS 支持下的浑善达克沙漠化土地最新特征分析. 内蒙古师大学报自然科学(汉文)版, 2001, 30(4): 356~360.
- [21] 袁佩新, 周明伟. 西藏自治区土地沙漠化遥感调查. 四川地质学报, 2004, 24(4): 223~225.
- [22] 白黎娜, 李增元, 高志海等. 青海省共和县土地沙化与土地覆被变化遥感监测研究. 水土保持学报, 2006, 20(1): 131~134, 142.
- [23] 刘文娟, 常庆瑞, 贾科利等. 荒漠化地区土地覆被光谱特征与遥感信息提取方法研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(9): 205~209.
- [24] 于海洋, 张振德, 张佩民等. 西藏土地荒漠化遥感监测. 地球科学与环境学报, 2007, 29(3): 316~320.
- [25] Thomas D S G, Middleton N J. Desertification: Exploding the Myth. Chichester: John Wiley & Sons, 1994.
- [26] 林年丰, 汤洁, 斯谔等. 松嫩平原荒漠化的 EOS-MODIS 数据研究. 第四纪研究, 2006, 26(2): 265~273.
- [27] 杨昕, 张玮. 基于 MODIS 植被指数——NDVI 的内蒙古锡林郭勒草场荒漠化监测方法研究. 中国农学通报, 2007, 23(6): 611~615.
- [28] 陈建平, 王功文, 厉青等. 北京及邻区荒漠化动态演化的遥感综合研究. 遥感信息, 2002, (3): 17~20.
- [29] 丁峰, 高志海, 魏怀东. CBERS-1 数据在评价荒漠化地区生态环境中的应用——以甘肃省古浪县为例. 水土保持学报, 2003, 17(1): 63~66.
- [30] 丁峰, 高志海, 魏怀东. CBERS-1 数据评价及在荒漠化监测中的应用. 遥感技术与应用, 2004, 19(5): 339~342.
- [31] 陈绍辉, 高志海. CBERS-1 数据处理及在荒漠化监测中的应用评价. 内蒙古林业科技, 2005, 4: 23~27, 8.
- [32] 杨萍, 董光荣, 李森等. 西藏沙漠化普查的遥感手段及其成图精度估算. 遥感技术与应用, 1998, 13(4): 14~20.
- [33] 丁建丽, 塔西甫拉提·特依拜, 熊黑钢等. 塔里木盆地南缘绿洲荒漠化动态变化遥感研究——以策勒县为例. 遥感学报, 2002, 6(1): 56~62.
- [34] 高会军, 姜琦刚, 霍晓斌. 中国北方沙质荒漠化土地动态变化遥感分析. 灾害学, 2005, 20(3): 36~40.
- [35] Liu Haijiang, Zhou Chenghu, Cheng Weiming, et al. Monitoring sandy desertification of Otindag Sandy Land based on multi-date remote sensing images. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(2): 627~635.
- [36] 汪潇, 张增祥, 王长有等. 新疆艾比湖绿洲土地退化遥感动态监测. 干旱区研究, 2007, 24(6): 741~746.
- [37] 张玉贵. 三北防护林及荒漠化遥感监测. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [38] 王涛, 吴薇, 薛嫒等. 近 50 年来中国北方沙漠化土地的时空变化. 地理学报, 2004, 59(2): 203~212.
- [39] 吴薇. 土地沙漠化监测中 TM 影像的利用. 遥感技术与应用, 2001, 16(2): 86~90.
- [40] 戴琳娜. 基于 3S 技术的辽西北地区荒漠化动态监测及驱动力分析. 吉林大学硕士学位论文, 2006.
- [41] Basso F, Bove E, Dumontet S, et al. Evaluating environmental sensitivity at the basin scale through the use of geographic information systems and remotely sensed data: An example covering the Agri basin(Southern Italy). Catena, 2000, 40: 19~35.
- [42] 田庆久, 闵祥军. 植被指数研究进展. 地球科学进展, 1998, 13(4): 327~333.
- [43] Hernandez-Leal P A, Arbelo M, Wilson J S, et al. Analysis of vegetation patterns in the Hispaniola Island using AVHRR data. Advances in Space Research, 2006, 38(10): 2203~2207.
- [44] 王莉雯, 牛铮, 卫亚星. 基于 MODIS NDVI 的新疆土地覆盖类型划分与潜在荒漠化区域探测. 干旱区地理, 2007, 30(4): 573~578.
- [45] 王澄海, 惠小英. 以植被指数 0.12 为指标看我国的荒漠化与草原界限的变化. 中国沙漠, 2005, 25(1): 88~92.
- [46] Leprieux C, Kerr Y H, Mastorchio S, et al. Monitoring vegetation cover across semi-arid regions: Comparison of remote observations from various scales. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(2): 281~300.
- [47] Qi J, Chehbouni A, Huete A R. A modified soil adjusted vegetation index. Remote Sensing of Environment, 1994, 48: 119~126.
- [48] 李宝林, 周成虎. 东北平原西部沙地近 10 年的沙质荒漠化. 地理学报, 2001, 56(3): 307~315.
- [49] 李金桐, 锴拉提, 纪良等. 基于 GIS 的 MODIS 环境荒漠化监测中的应用方法研究. 新疆气象, 2003, 26(2): 20~

- 23.
- [50] 王正兴, 刘闯, HUEFE Alfredo. 植被指数研究进展: 从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI. 生态学报, 2003, 23(5): 979~987.
- [51] 宫恒瑞. 基于遥感技术的艾比湖地区荒漠化监测研究. 新疆农业大学硕士学位论文, 2005.
- [52] Dallo-Dlmo G, Karnieli A. Monitoring phenological cycles of desert ecosystems using NDVI and LST data derived from NOAA-AVHRR imagery. Remote Sensing Studies of the Middle East dry lands. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23:19,4055~4071.
- [53] 杜明义, 武文波, 郭达志. 多源地学信息在土地荒漠化遥感分类中的应用研究. 中国图象图形学报, 2002, 7(7): 740~743.
- [54] 刘爱霞, 王长耀, 王静 等. 基于 MODIS 和 NOAA/AVHRR 的荒漠化遥感监测方法. 农业工程学报, 2007, 23(10): 145~150.
- [55] Li Fang, He Yanfen, Liu Zhiming, et al. Dynamics of sandy desertification and its driving forces in western Jilin Province. Chinese Geographical Science, 2004, 14(1): 57~62.
- [56] 毛晓利, 赵鹏祥, 王得祥 等. 非监督数字化分类与 GIS 在土地沙漠化动态监测中的应用. 西北林学院学报, 2005, 20(3): 6~9.
- [57] 王建, 董光荣, 李文君 等. 利用遥感信息决策树方法分层提取荒漠化土地类型的研究探讨. 中国沙漠, 2000, 20(3): 243~247.
- [58] 杜明义. 决策树方法在土地荒漠化分类中的应用研究. 测绘科学, 2006, 31(2): 81~82.
- [59] Atkinson P M, Tatnall A R L. Neural networks in remote sensing. Remote Sensing, 1997, 18(4): 699~709.
- [60] 乔平林, 张继贤, 林宗坚. 基于神经网络的土地荒漠化信息提取方法研究. 测绘学报, 2004, 33(1): 58~62.
- [61] Prince S D. Satellite remote sensing of primary production: Comparison of results for Sahelian Grasslands 1981-1988. International Journal of Remote Sensing, 1991, 12 (6): 1301~1311.
- [62] Treitz P, Howarth P. High spatial resolution remote sensing data for forest ecosystems classification: An examination of spatial scale. Remote Sensing of Environment, 2000, 72(3): 268~289.
- [63] 于海洋, 张振德, 张佩民. 青海土地荒漠化评价及动态监测. 干旱区研究, 2007, 24(2): 153~158.

The Application of Remote Sensing Technology to Land Desertification Monitoring

LI Yayun^{1,2}, YANG Xiuchun³, ZHU Xiaohua¹, XU Bin³

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, CAAS, Beijing 100081, China)

Abstract: Land desertification has been a worldwide environmental problem. It is also a serious eco-environmental problem in China. Because of the advantage of large amount of information, short cycle and broad scope of data, less restrictions on the human and material resources and so on, remote sensing has become an important technology to monitor land desertification in the past 30 years.

Firstly, we summarize the research progress in monitoring land desertification using remote sensing data, including different satellite remote sensing imageries, how to choose the time and bands of the imageries and how to choose the vegetation indexes. Then, we discuss about the methods to extract information of land desertification from remote sensing imageries, which includes artificial visual interpretation, supervised classification, unsupervised classification, hierarchical decision tree classification and neural network classification. Also we comprehensively compare the strength and weaknesses of each method. Furthermore, we analyze the reasons why both computer automatic classification and artificial classification are widely used in monitoring land desertification. We identify the problems in the remote sensing technology application to land desertification monitoring. Finally, we put forward the development prospects in the application of remote sensing to monitoring land desertification, such as the integration of aggregative indicators and methods and so on.

Key words: land desertification monitoring; remote sensing technology; application; research progress