

中国农业科学院

硕士学位论文

TM数据草原沙漠化信息提取研究

姓名：刘同海

申请学位级别：硕士

专业：草业科学

指导教师：吴新宏

20050601

摘 要

由于环境恶化、人为破坏,浑善达克沙地已成为华北地区沙尘暴发生的主要策源地之一,导致京津地区常形成扬沙、沙尘暴天气。为及时掌握浑善达克沙地沙漠化发展动态,本文主要选择TM数据、地面定位样方和地面光谱定位测定数据,进行草原沙漠化信息提取研究。通过光谱特征分析、波段选择、主成分变换、比值增强处理、缨帽变换、植被指数、植被盖度分析等,进行草原沙漠化信息增强与提取方法研究,建立植被盖度分析模型等手段,探索草原沙漠化信息的提取方法。并对浑善达克沙地部分区域进行了2000年~2004年沙漠化动态变化分析。

本文在图像增强处理等基础上选出主成分分析的第二主成分、TM3/TM4 图像、植被指数、土壤面,与TM5、TM4 和 TM3 进行组合,对其进行非监督分类和监督分类。经验证其分类总精度达到 88.46%,证明沙漠化信息提取效果较理想。

考虑到植被盖度是草原沙漠化分级主要指标,本文结合地面调查数据,建立了植被盖度估测模型: $C = 115.482 \times NDI7 + 20.046$,其相关系数为 0.803,经 F 检验其相关性达极显著水平。通过该方法生成植被盖度分布图,并进行草原沙漠化分级。经验证,其精度高达 85.42%,与直接通过植被指数经验公式计算植被盖度,然后进行草原沙漠化分级结果相比(精度为 75%),该方法效果较理想。

研究发现,在选取特定波段的基础上,再结合沙漠化信息增强图像,进行分类分级,经精度验证分析,效果较好。同时,结合植被盖度和水分等直接与沙漠化信息相关的因素分析结果,草原沙漠化信息提取快速简洁,易实现。

在探索了草原沙漠化信息提取的基础上,对浑善达克沙地 2000 年和 2004 年沙漠化动态变化进行分析,发现浑善达克沙地西部重度沙漠化区域扩展十分明显,东部重度沙漠化略有恢复;与 2000 年相比,2004 年重度和中度沙漠化年均增长百分比分别为 2.26%和 2.19%;沙漠化类型保持不变的占 47.75%;发展的占 23.14%;植被得到恢复的为 11.69,浑善达克沙地沙漠化形势亦然严峻。

关键词:草原沙漠化, TM 数据, 信息提取, 植被盖度, 植被指数, 浑善达克沙地

Abstract

Because of the environment degradation and the human disturbance, the Hunshandake sand has become one of main sources of sandstorm which brings about sandstorm weather conditions in the area of Beijing and Tianjin. For understanding the desertification trends quickly in Hunshandake sand, based on TM data, the data of ground investigation and the ground spectrum data, the grassland desertification evaluation system was established by the desertification spectrum characteristic analysis in this article. At first, for the purpose of getting details of the grassland desertification information, the paper studied the method of grassland desertification information extraction by way of remote sensing image enhancement technologies, such as band choice, the principal component analysis, band ratio enhancement, the tasseled cap transformation, vegetation index. The vegetation coverage analysis models were built as well for the same reason. Finally, the paper analyzed the desertification dynamics from 2000 to 2004 year.

The data of vegetation index, the second components of PCA, TM3/TM4 ratio image, and soil image were combined with TM5, TM4 and TM3 band in order to carry out the unsupervised and supervised classification. Accuracy assessment showed that the total accuracy was 88.46%, which meant that the extraction of grassland desertification information was acceptable.

Since the vegetation coverage is the key factor for grassland desertification evaluation, this article modeled the vegetation coverage in terms of filed observation data set: $C = 115.482 \times NDVI + 20.046$, The correlation coefficient was 0.803, and F test showed a more significant result. According to the model, the vegetation coverage map was generated and then used for grassland desertification evaluation. The accuracy was 85.42%. Comparing with directly calculating vegetation coverage from vegetation index, this model showed good agreement with actual condition.

On the bases of specific band selection, combing with enhanced images, the grassland desertification classification may get reasonable results. Moreover, coupled with vegetation coverage and soil water condition, the extraction of grassland desertification information was accomplished simply, easily and quickly.

The study on Hunshandake sand desertification dynamics from 2000 to 2004 illustrated that the heavy desertification area expanded greatly in west Hunshandake sand. In east Hunshandake sand, the heavy desertification area was shrunk. Comparing with 2000, the heavy and moderate desertification area expanded in 2004. In general, the grassland desertification trend of Hunshandake sand showed worse.

Keywords: Grassland desertification, TM data, Information extraction, Vegetation coverage, Vegetation index, Hunshandake sand

中国农业科学院

硕士学位论文评阅人、答辩委员会名单表

论文题目		TM 数据草原沙漠化信息提取研究					
论文作者		刘同海	专业	草业科学	研究方向	草原资源与生态遥感	
指导教师		吴新宏		培养单位(研究所、中心)		草原研究所	
姓名	职称	硕(博)导师	单 位	专 业	签 名		
评 阅 人			硕导 <input type="checkbox"/> 博导 <input type="checkbox"/>				
			硕导 <input type="checkbox"/> 博导 <input type="checkbox"/>				
			硕导 <input type="checkbox"/> 博导 <input type="checkbox"/>				
答 辩 主 席	刘德福	教授	硕导 <input type="checkbox"/> 博导 <input checked="" type="checkbox"/>	内蒙古农业大学	草原	刘德福	
答 辩 委 员	苏和	研究员	硕导 <input type="checkbox"/> 博导 <input checked="" type="checkbox"/>	中国农业科学院草原研究所	草原遥感	苏和	
	牛建明	教授	硕导 <input type="checkbox"/> 博导 <input checked="" type="checkbox"/>	内蒙古大学	生态遥感	牛建明	
	刘果厚	教授	硕导 <input type="checkbox"/> 博导 <input checked="" type="checkbox"/>	内蒙古农业大学	林业治沙	刘果厚	
	刘桂香	研究员	硕导 <input checked="" type="checkbox"/> 博导 <input type="checkbox"/>	中国农业科学院草原研究所	草原监测	刘桂香	
				硕导 <input type="checkbox"/> 博导 <input type="checkbox"/>			
				硕导 <input type="checkbox"/> 博导 <input type="checkbox"/>			
会议记录(秘书)		王加亭					
论文答辩时间地点		2005年6月20日 草原研究所二楼会议室					

独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其它人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得中国农业科学院或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

研究生签名：刘司海 时间：2005年6月22日

关于论文使用授权的声明

本人完全了解中国农业科学院有关保留、使用学位论文的规定，即：中国农业科学院有权保留送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。同意中国农业科学院可以用不同方式在不同媒体上发表、传播学位论文的全部或部分内容。

研究生签字：刘司海 时间：2005年6月22日

导师签字：吴新岩 时间：2005年6月23日

第一章 引言

1.1 研究意义

沙漠化是世界十大环境问题之一，也是我国北方亟待解决的主要生态问题。在本世纪初，我国连续三年大面积遭受沙尘暴袭击。西至青藏高原，东到京津塘地区，北为内蒙古，南临长江沿岸，中国北方大部分地区都见识了沙尘、沙尘暴给我们人类所带来的生存危机。而沙尘天气、沙尘暴频繁发生的主要原因是我国北方地区大面积的土地沙漠化。尤其是在生态脆弱的草原带，草原沙漠化问题尤为突出。

草原沙漠化问题愈来愈受到国家与地方所重视。国务院于2000年召开三次会议进行研究；2000年5月朱镕基总理考察了河北坝上草原和浑善达克沙地等地区，做出了加快防沙治沙步伐，特别是要加快环北京周围地区防沙治沙速度“防沙止漠，刻不容缓”重要指示；2000年10月，党的十五届五中全会进一步提出加强生态建设，遏制生态恶化，抓紧环京津生态圈工程建设。

2001年，在环北京地区防沙治沙工程规划中确定了浑善达克沙地治理区，针对流动沙地、半固定沙地和固定沙地分别通过建设人工沙障与种植灌木林相结合、飞播和人工种植、封育相结合、保护和改良草场、营造草场和农田林网等措施，防沙治沙，改善地表环境，建设保护屏障（环北京地区防沙治沙工程规划，2001）。

目前，该规划已经实施5年，对浑善达克沙地治理效果如何？浑善达克沙地变化动态如何？这些问题亟待解决，并且及时准确地掌握浑善达克沙地沙漠化状况，还能对决策者进行下一步治理规划提供数据信息支持。浑善达克沙地是草原沙漠化的一个典型区域。掌握浑善达克沙地沙漠化变化其关键是草原沙漠化信息的获取。

而传统的地面草原沙漠化调查方法费时、费力（人力、物力），这就在很大程度上限制了沙漠化信息的收集工作，远远不能满足需要，加上浑善达克沙地交通不便等限制因素，传统的调查方法难以实现对草原沙漠化的全面调查。目前，遥感科学正处于大时空、高分辨率的发展进程中，因此利用遥感技术进行草原沙漠化监测，能充分体现及时、快捷、准确、科学、经济等特点。

草原沙漠化遥感监测的关键技术是遥感图像沙漠化信息提取。草原沙漠化具有多样性，复杂性、破碎化程度高等特点，尤其是在半固定沙地利用遥感数据提取沙漠化信息难度很大。并且目前研究大面积的草原沙漠化，考虑到经济等因素，多选择中低分辨率的数据，致使草原沙漠化信息提取难度加大，因而，探索一些适合的草原沙漠化信息提取方法尤为重要。

1.2 沙漠化的定义

目前，有关沙漠化问题的研究，在世界各国都是一个比较活跃的领域，但就荒漠化/沙漠化/沙化等概念的界定，至今也是仁者见仁，智者见智。1984年，联合国粮农组织和环境规划署（FAO 1984），在研究荒漠化评价和制图时，就荒漠化定义作了修订：认为是气候、土壤、经济、社会及自然等多种因素作用的结果，它破坏了土壤、植被、大气和水分之间的平衡，导致生产潜力破

坏,环境恶化,荒漠景观增多。《联合国防治荒漠化公约》(1994)中的荒漠化定义为:指包括气候变异和人类活动在内的种种因素造成的干旱、半干旱和半湿润地区的土地退化。

而在中国,有的学者引用荒漠化概念,也有学者提出沙漠化、沙化等概念。王涛等(2002)根据土地退化的主要形式,将荒漠化分为风蚀荒漠化、水蚀荒漠化及土壤盐渍化等三种类型,并定义风蚀荒漠化即沙漠化(Sandy Desertification)为:人类不合理经济活动,叠加以空气动力为主的自然营力所造就的土地退化过程,干旱多风和沙源丰富的沙质地表是产生风蚀沙漠化的条件和物质基础。近几年,由于沙尘暴等原因,沙化概念使用频度较大。认为沙化是指气候变化和人类活动所导致的天然沙漠扩张和沙质土壤上植被破坏、沙土裸露的过程(www.legaldaily.com.cn, 2001)。在李远森等(2003)的文章中引用的沙化土地为:各种气候(包括极干旱、干旱、半干旱、亚湿润干旱和湿润)条件下,主要由于风力作用形成的、以疏松的沙质表层为主要标志的、具有风沙活动(即风蚀移动、堆积过程)及风沙地貌景观的退化土地。

这里,针对我国北方沙地土地退化,笔者比较赞同王涛、朱震达等(2002)提出的沙漠化概念,认为沙漠化是干旱、半干旱及部分半湿润地区由于人地关系不协调所造成的以风沙活动为主要标志的土地退化。

1.3 国内外研究进展

早在上世纪80年代末90年代初,国内外一些专家学者就开始了沙漠化遥感监测研究。涂军等(1990)进行了草地土地利用现状的遥感技术制图研究,并对若尔盖县草地荒漠化进行了专门研究,开始了草地沙漠化遥感监测的探讨,利用航片、卫片查清了若尔盖草地资源的现状、演变规律及其荒漠化程度等,结合当时的遥感技术水平,把草地沙化分为沙地、沙化草地两大类型;通过航片和MSS获得的图像所反映的沙地和沙化草地的反射光谱曲线来建立解译标志,将裸露沙地、沙化草地分开。胡新博等(1996)利用NOAA/AVHRR资料,在荒漠、半荒漠地区开展了植被光谱和遥感参数的应用研究,并利用垂直植被指数(PVI)监测荒漠、半荒漠草地,其效果明显优于比值(RVI)和归一化植被指数(NDVI)。石玉芳等(1996)运用不同时期的航片和TM图像,结合大量的地面资料,来研究土壤风蚀、沙化的发生及发展规律。国外一些学者从上世纪80年代中期也开展了荒漠化遥感研究。F.Jaskoll等(1990)开始了应用遥感数据进行荒漠化监测的探讨。G.Dall-Olmo等(2002)利用NDVI和LST(Land Surface Temperatures)两指标,并通过其差值来分析沙区生态系统。M.Akram等(1990)研究发现促使风蚀强化的原因有:风速、土壤理化特性、植被盖度、水分、地形和降雨,并就利用植被盖度将沙地划分为固定沙地、半固定沙地和流动沙地。F.C.Tanser等(1999)用MSDI(Morning Standard Deviation Index)并对比分析了NDVI的相关性来研究半干旱区的土地退化的生态系统。

近年来,由于沙尘暴的肆虐,国内外对沙漠化遥感研究比较活跃。并且随着遥感图像处理技术的发展,对沙漠化遥感研究也逐渐形成其专门的理论基础。20世纪90年代末,黄敬峰等(1999)利用TM遥感图像对西部干旱区土地资源调查、土地利用变化进行了研究,就波段的选择,图像的校正以及信息提取都上升到较精确的分析。张玉贵, F.R.Beernaert等(1998)应用遥感图像处理软件结合ARC/INFO数据分析软件,并结合Photoshop系统地介绍了TM图像监测荒漠化的潜力以及卫星图像分类的技术要点。赵英时等(1999)对干旱区用线性光谱混合模型(LSMM)分

出沙地、裸地，并形成和分量图。Wang Jian 等（2002）利用“多层”技术及决策树技术对沙地类型等信息进行提取。同期，就沙化土地盖度的遥感研究也取得了很大的进展。M.C.Hansen 等（2002）应用线性混合模型 LMM(Linear Mixture Model)以及基于端元(Endmembers)的回归树(A Regression Tree Algorithm)进行盖度分析。Alfredo D Collado 等（2002）把光谱混合分析(SMA)应用于沙漠化土地监测。纵观沙漠化遥感研究，尤其是 2000 年以后，研究态势急剧升温，已由原来的相关技术的借鉴，发展到目前沙漠化遥感专题研究的精确化、快速化。

在遥感图像波段选择研究方面，国内外学者作了一些研究（Bannari A.等，1995；Tucker C.J., 1979），但也存在一些问题。有的只是传统地采用前人选择的波段，缺乏分析，致使说服力较差。譬如，多数人在利用 TM 影像进行专题研究时，常袭用 TM4、TM3、TM 2 波段进行假彩色合成（石玉芳等，1996；张玉贵等，1998；邝生爱等，2002）。黄敬峰等（1999）在对干旱区土地利用研究时，在对遥感影像各波段光谱值进行标准差比较的基础上选择 TM4、TM5 和 TM3 波段，并结合 TM4、TM3、TM 2 波段的假彩色合成，达到极其满意的分类效果。有人是直接通过地物光谱反射特征曲线的对比，再结合各波段的特征，选定其中的波段（张晋开等，1996）。倘若在经验以及地物光谱特征曲线分析的基础上，再通过统计分析等，最后选定研究专题所需的波段，这样分类等信息提取效果势必更加理想。

在几何校正方面的研究目前也是一大热门。利用不同时相的卫星资料提取变化信息，首先必须解决好不同时相卫星数据的高精度几何配准。对于图像的随机畸变，常用控制点对，以多项式进行匹配拟合的几何校正方法。其原理方法是：最小二乘法，重采样和内插。常用的多项式有：一般多项式、勒让格正交多项式、切比谢夫正交多项式、分块插值多项式等。常用的内插方法是：三次卷积、双线性内插以及最邻近内插等等。目前考虑到计算速度等因素，多是采用了最邻近内插（张晋开等，1996；邹亚荣等，2002）。但当我们研究的区域是由多景图像拼接时，我们就要提高几何校正的高精确性。有人着重改进控制点选取技术，即对控制点像元进行分解，取其局部作为配准依据，校正误差小于 0.5 个像元（张玉贵，1998）。校正后的图像根据需要，还要进行图像的镶嵌。图像的镶嵌处理关键是拼接缝的消除。武汉大学的王建忠教授等人成功地利用小波变换很好地兼顾了清晰度和光滑度两个方面。还有一种方法是强制改正，即先统计拼接缝上任意位置两侧的灰度差，然后将灰度差在该位置两侧的一定范围内强制改正掉（朱述龙等，2000；雷军等，2001）。

目前，在沙漠化遥感分析中，就信息融合技术的应用，多集中在假彩色合成、遥感影像与地形图的叠加、比值、主成分分析和利用模型等方面的研究。雷军等（2001）在对内蒙古土壤水力侵蚀评价研究中，首先建立多信息源叠加分析数学模型，然后结合研究目标对 TM 影像信息、1:10 万地形图和 DEM 模型上的坡度、坡向和高程等信息进行叠加，准确地揭示了内蒙古土壤水力侵蚀规律。邝生爱等（2002）用 TM3/TM5、TM2/TM4、TM3/TM7 来研究多伦地区的土类差异和空间分布。利用植被指数对荒漠化监测也有较多的研究，到目前为止，已经发展了 40 多个植被指数，各有其独特的一面。目前在沙漠化监测中，常用的主要植被指数有归一化植被指数(NDVI)、土壤调节植被指数(SAVI)、修正的土壤调节植被指数(MSAVI)等。但 NDVI 对低密度植被表达误差较大，有人为了消除土壤的影响，更准确地反映沙地植被状况，采用了 MSAVI 进行分析（李宝林等，2002）。世界银行 1995 年在报告《环境监测进展》中所列的可持续性矩阵中，对于荒漠化问题给出了“荒漠化指数”的指标（World Bank, 1995）。在退化/沙漠化土地地表盖度信息

提取中,陈云浩等(2001)通过 NDVI 和 LST (陆地表面温度)组合,利用主成分分析和信息熵,来研究荒漠草原的盖度。

掩膜技术是在对遥感影像进行增强处理的基础上,根据需要选择一定阈值将影像二值化,和专题信息图像进行乘法运算,从而达到消除非目标物信息的光谱干扰,来突出专题信息的一种技术(马超飞等,1998)。该技术可以用来去除象云及其阴影、水体等非沙漠化信息。

在解译分类方面,以前传统的目视解译,是在纸质影像上进行解译、勾绘、转绘,最后还有手工着色。随着计算机软硬件的发展,目前采用计算机辅助目视解译,然后直接在计算机上勾绘,操作速度以及准确性大大提高。随着遥感技术在各领域的应用步伐日益加快,同时遥感图像处理技术也在飞跃发展,分类技术势必也要走软件化的道路。但目前的计算机非监督分类只能应用于地物均一的情况,而监督分类首先需要一定的训练区,且对复杂的分区无能为力。计算机自动分类依据是像素具有的多光谱特征,并没有考虑相邻像素间的关系(梅安新等,2002);同时提高遥感图像分类的精度受到限制(尤其是对混合像元较多的影像)。因此,计算机监督分类和非监督分类技术有待进一步提高,以适于科研和社会的需要。目前有人源于医学图像处理领域,提出的神经元分类法,并应用于环境遥感分析(M.Tsuiki等,1992)。也有人提出基于景象域相邻最小距分类来解决混合像元的归属问题(董永平,2001)。这些分类效果都挺理想。分类后,由于形成一些零碎而又杂乱的图斑,我们还要进行分类后处理。有人通过设计算法来实现分类图像“孤岛”的去除、边界提取等(李明诗等,2001)。有人是通过模式滤波来清洁画面,去除图像中的孤立点(张晋开等,1996)。

在沙漠化/荒漠化评价指标的研究方面,目前国内外评价方法不一。1977年联合国沙漠化大会后,Berry和Ford提出用于全球范围的4级监测指标体系,指标以气候因子为主体,未考虑人为活动因素。1978年Rcining考虑到自然因素和人为因素的相互联系,提出由物理、生物、社会三方面众多指标组成监测指标体系。前苏联土库曼沙漠研究所划分为植被退化、风蚀和水蚀、盐渍化等荒漠化类型,并从荒漠化现状、荒漠化速度和荒漠化潜在危害三方面制定评估标准。朱震达等(1994)判断沙漠化程度的指标为荒漠化土地扩大率;以植被盖度大小作为荒漠化程度的参考指标。王军厚、孙司衡(1996)提出了包括气候区、外营力、土地利用类型、地表特征和荒漠化程度的多因素、复叠式荒漠化分类。王葆芳(1997)利用国内外资料评述沙漠化监测评价指标体系的分级。高尚武等(1998)依据地表形态和生态状况的变化确定植被盖度、裸沙地占地百分比和土壤质地3项沙漠化/荒漠化评价指标,从不同侧面指示特定土地的生产力,并将各指标因子量化,给出沙质荒漠化(风蚀荒漠化、沙化)现状综合评价模型。可以看出,无论国内外,就沙漠化/荒漠化评价指标,由于其研究领域及其研究方式不同,指标多种多样,共享性较差,且有许多指标不能很好的从遥感数据中获取。综合比较,高尚武等提出的植被盖度、裸沙地占地百分比和土壤质地3项沙漠化评价指标,简单易行,在遥感图像中较易提取。

综上所述,利用遥感图像提取草原沙漠化信息,进一步进行草原沙漠化监测完全可行。本文通过光谱特征分析、波段选择、遥感图像增强处理方法、植被盖度分析、分类分级等提取与分离沙漠化信息,并对浑善达克沙地沙漠化变化动态进行分析。

第二章 研究区域概况

2.1 浑善达克沙地概况

2.1.1 地理位置及分布

浑善达克沙地又称小腾格里沙地，位于N 41°56′~44°24′,E120°22′~117°57′之间，地处锡林郭勒高原中部，东起大兴安岭南端西麓达里诺尔，向西一直延伸到集二铁路沿线，东西延伸约360km，南北宽30km~100km（乌兰图雅等，2001）。行政区划属内蒙古自治区锡林郭勒盟和赤峰市，主要包括赤峰市的克什克腾旗，锡林郭勒盟的苏尼特右旗、苏尼特左旗、阿巴嘎旗、锡林浩特市、镶黄旗、正镶白旗、正蓝旗、多伦县、太仆寺旗等旗县(见图 2-1)。

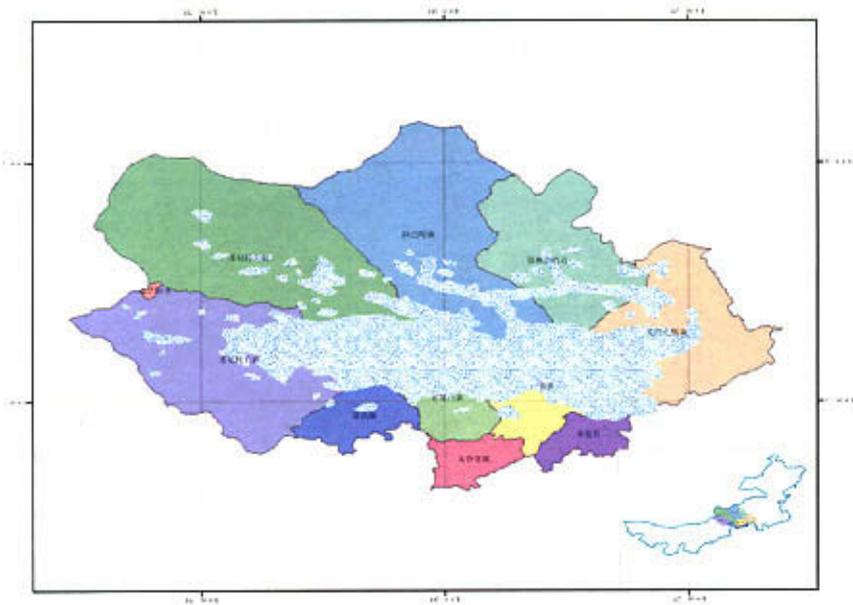


图 2-1 浑善达克沙地地理位置

Fig. 2-1 The geographical position of Hunshandake sand

2.1.2 地质、地貌

浑善达克沙地在地质构造上为一地堑式的凹陷带，地势东高西低，由东南向西北缓缓降低，地面起伏不大，海拔 1,150m~1,500m，沿东西向断裂带有若干湖盆分布。沙地主要由覆盖第三纪构造剥蚀高原上的砂砾层和砂层构成，其中砂页岩、泥岩、薄层灰岩及细砂岩以及第四纪疏松的砂质湖相沉积物是沙地形成的物质基础（章祖同等，1992）。

浑善达克沙地边缘为剥蚀低山、丘陵，沙地内部为沙丘、湖泊、盆地及剥蚀高原交错分布。其中沙丘分为固定、半固定沙丘和流动沙丘。

固定沙丘多为沙垄、沙垄—梁窝状沙丘和灌丛状沙丘，在主风的影响下多呈西北西—东南东方向排列，主要集中于沙地东部的典型草地和疏林草地，在沙地西部呈斑块状分布。半固定沙丘呈斑点状散布在固定沙丘之间，在强烈的风蚀作用和人为活动的影响，往往在迎风面形成风蚀窝，有裸沙出现。流动沙丘多出现在沙地的西部和中部分地区，呈斑块状分布于半固定沙丘之间，其主要特征是新月型沙丘及沙丘链，并呈斑块状分布于半固定沙地之间。

2.1.3 气候

浑善达克沙地地处中纬度，属中温带半干旱、干旱大陆性季风气候。年均气温在 0°C ~ 3°C 之间。据 1960 年~1999 年的气象资料统计分析，浑善达克沙地年日照时数 2800h~3200h，日照百分率 65%~72%； $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 2000°C ~ 2600°C ，西部最高可达 2700°C ；地表获得的热量从东南向西北递增；无霜期 100 天~110 天（吴新宏，2003）。

浑善达克沙地各地降水量分布不均匀。年降水量自东南向西北递减，东南部年降水 350mm~400mm，西北部为 100mm~200mm（见表 2-1）。年蒸发量为 1680mm~2940mm，为降水量的 6~10 倍。受东南季风的影响，年内降水极不均衡，主要集中于夏秋季。

表 2-1 1991 年~2002 年浑善达克沙地主要区域年降水量统计表

Tab.2-1 The statistical table of the annual precipitation in Hunshandake sand main area in 1991~2002

单位 mm

旗县	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
多伦县	329	346.7	291.2	291.9	321.8	334	269	367.5	338.6	280.4	191.2	217.8
正蓝旗	263.6	422.1	257.9	317.6	344.8	267.3	218.5	313.4	339.7	256.7	182.6	127.5
太仆寺旗	308.9	284.1	258.8	256.1	354.9	268.7	219.7	340.2	318.6	259.4	193.6	187.1
正镶白旗	281.6	318.6	215.6	238.6	280.8	214.5	176.3	353	286.7	236.1	233.3	163.2
锡林浩特市	238.7	218.5	323.5	176.3	253.6	260.3	172.1	302.9	160.6	143.9	122.6	138
镶黄旗	179.7	235.7	163.1	200.9	199.7	193.5	187.1	253.9	259	186.6	151	177.7
阿巴嘎旗	168.2	233.6	222.8	156.8	191.7	229	98.1	323.9	146.5	145.2	103.2	124.2
苏尼特右旗	129.5	177.2	131.1	117.8	139.8	256.5	122.6	169.7	166.1	155.4	91.5	83.2
苏尼特左旗	129.7	211.4	123.7	122.4	165.7	147.9	119.5	162.1	95.2	107.1	90.2	104.6

注：数据来源于内蒙古自治区镶黄旗气象局

浑善达克沙地主风向为西北风，平均风速 4m/s，最大风速为 24m/s~28m/s，年大风日数 50 天~80 天，是全国沙区最大风区之一（董建林，2000）。大风主要集中于 4 月~5 月，而此时，地面覆盖物少，沙表裸露，地表干旱，为草地风蚀和沙尘暴的发生提供了条件，致使浑善达克沙地成为华北地区沙尘暴发生的主要策源地之一。

2.1.4 植被

浑善达克沙地呈东西向延伸,草原类型丰富,主要有典型草原、草甸草原和荒漠草原(吴新宏, 2003)。

沙地东部主要植被为沙地森林、草甸植被。乔木中以阔叶的沙地榆树(*Ulmus pumila*)占主导地位,形成典型的沙地榆树疏林景观。灌木则有黄柳(*Salix gordejewii*)、绣线菊(*Spiraea L.*)、锦鸡儿(*Caragana microphylla*)等,在不同的立地条件下形成以不同植物为优势种的植被类型。草本植被主要有大针茅(*Stipa grandis*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、冷蒿(*Artemisia frigida Willd.*)、苔草(*Carex L.*)、百里香(*Thymus mongolicus Ronn.*)、麻黄(*Ephidella spp.*)等和耐旱的杂草及沙生冰草(*Agropyron desertorum (fisch.)Schult.*)等组成的群落。

沙地中段为典型草原植被,乔木分布很少,沙地榆多以榆树疏林或散生形式分布,灌木中黄柳占主导地位,褐沙蒿(*Artemisia intramongolia H.C.Fu*)是主要建群种,沙地榆疏林下以羊草(*Aneurolepidium chinense*)、冰草(*Agropyron cristatum*)、苔草等多年生草本为建群种。

沙地西部属荒漠草原植被,植物低矮稀疏,固定、半固定沙丘是以锦鸡儿、沙蒿类等为主,伴有冷蒿(*Artemisia frigida Willd.*)、糙隐子草、沙生针茅(*Stipe glareosa*)等植物。

2.1.5 土壤

因地理位置、气候环境等因素的影响,土壤形成发育具有明显的地带性分布规律。浑善达克沙地东部一般为草甸栗钙土或暗栗钙土,向西逐渐演变为淡栗钙土,到西北部二连浩特附近则过渡为棕钙土(吴新宏, 2003)。

土壤类型除受地带性因素影响外,更直接的是受非地带性因素所支配。沙地内广泛分布的风沙土是主要非地带性土壤,并呈沙丘、丘间低地相间分布。其次为草甸土和盐土。

2.1.6 水文

浑善达克沙地水资源较为丰富,水分状况优越。地表径流主要分布在沙地的东中部。浑善达克沙地内陆湖泊较为富集,分布有 110 余个积水面积不等的小湖泊,东部为淡水湖,西部多为盐碱湖。地下水埋深受地形的制约,东部地下水丰富,一般埋深 1m~3m,或呈泉水出露,水质良好;西部地下水缺乏,水质欠佳。流动沙丘上的干沙层厚 3cm~10cm,湿沙层含水量 3%~4%,可保证沙地先锋植物所需的水分;丘间洼地的地下水埋深一般为 1m~1.5m,有的仅为 50cm 左右,甚至有地下水出露。这些水文条件为浑善达克沙地的治理提供了良好的水源条件(吴新宏, 2003)。

而浑善达克沙地许多湖泊靠临时性地表径流和地下水补给。目前由于干旱缺雨及地表组成物质粗疏,地表径流很不发育,许多湖泊已干涸或面临干涸,这同样对改善当地生态环境建设构成威胁。

2.1.7 社会经济概况

浑善达克沙地是以蒙古族为主体, 畜牧业经济为主的多民族杂居的地区。总人口 5.14×10^6 人, 人口密度 222.0 人/ km^2 。国土总面积 $1.54 \times 10^5 \text{km}^2$, 沙漠化土地面积 $4.85 \times 10^6 \text{ha}$ 。耕地 $1.31 \times 10^6 \text{ha}$, 仅占 8.5% , 草场 $8.79 \times 10^6 \text{ha}$, 占 57.0% 。农牧民人均收入在 1340 元~ 4500 元之间, 呈明显的北部牧民收入高, 南部收入低的趋势(内蒙古自治区统计局, 2000; 李青丰等, 2001)。

下面仅就研究区域所在旗的社会经济状况进行统计, 如表 2-2。

表 2-2 正蓝旗与镶黄旗社会经济状况统计表

Tab. 2-2 The table of social economic statistical of Zhenglanqi and Xianghuang Banner

旗县	土地总面积 (ha)	可利用草场面积 (ha)	总人口 (人)	大牲畜 (头)	小牲畜 (只)	人均 GDP (元)
正蓝旗	101.8×10^4	83.3×10^4	7.9×10^4	11.4×10^4	61.6×10^4	4444.1
镶黄旗	49.6×10^4	44.0×10^4	2.8×10^4	3.9×10^4	48.8×10^4	3920.1

注: 数据资料来源于正蓝旗和镶黄旗草原站

2.2 研究区域概况

本研究从浑善达克沙地选择两个典型区域进行研究, 一处位于浑善达克腹地的正蓝旗桑根达来镇, 另一区域为浑善达克沙地南缘的镶黄旗文贡勿拉苏木。

2.2.1 正蓝旗桑根达来镇概况

正蓝旗位于浑善达克沙地腹地东部, 研究区域位于正蓝旗中部的桑根达来镇, 海拔 1315m 。该区固定沙丘、半固定沙丘、流动沙丘和丘间低地镶嵌分布, 沙丘类型主要是梁窝状、垄状沙丘和灌丛沙堆。沙丘高度一般 5m ~ 30m , 以 $<10\text{m}$ 的沙丘为多。近年来因过度利用, 沙漠化过程大大加强, 固定沙丘活化, 流动沙地面积增多, 风蚀窝、风蚀坑在沙丘及平沙地均有分布。

该区域属温带半干旱区大陆性气候, 年平均气温 1°C ~ 4°C , 平均无霜期 105 天。年均降水量 276mm (见表 2-3), 并且年均降水量呈减少趋势(见图 2-2), 蒸发量 1722mm 。 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 1883.2°C , 年日照时数 3100.6h 。年平均风速 4.2m/s , 年大风日数(>8 级)平均为 32d , 最少 15d , 最多 72d , 扬沙日数 8.3d , 沙尘暴数 4.3d 。

表 2-3 1991 年~2002 年镶黄旗、正蓝旗年均降水量统计表

Tab.2-3 The statistical table of the average annual precipitation in Xianghuang Banner, Zhenglanqi in 1999~2002

单位: (mm)

旗县	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
正蓝旗	263.6	422.1	257.9	317.6	344.8	267.3	218.5	313.4	339.7	256.7	182.6	127.5
镶黄旗	179.7	235.7	163.1	200.9	199.7	193.5	187.1	253.9	259.0	186.6	151.0	177.7

注: 数据来源于内蒙古自治区镶黄旗气象局

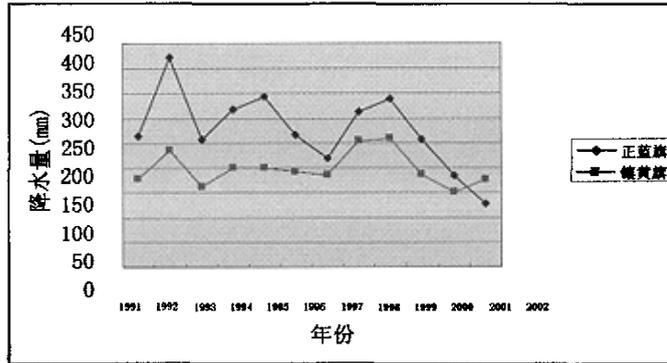


图 2-2 1991 年~2002 年镶黄旗、正蓝旗年均降水量变化

Fig.2-2 The change of the average annual precipitation in Xianghuang Banner , Zhenglanqi in1999~2002

桑根达来镇的地带性土壤为栗钙土，非地带性土壤有风沙土、草甸土、盐化草甸土及沼泽土等。发育在冲积—湖积物上的草甸土以及沙丘上的风沙土是研究区内的代表性土壤。

桑根达来在植被组成上，一方面受地带性典型草原的影响，另一方面又因地质地貌特别是沙地的影响，而具有沙地草原的一般特征。如以草原禾本科植物占优势的草地型主要分布于丘间低地，沙丘上主要是草原地带少见的沙生植物，并形成以灌木和草本为优势的植被类型，其中菊科、蒿属植物是本地区建群种。乔、灌木广泛分布，乔木主要以沙地榆树占主导地位，但分布面积少而不均，多以单株散生或以疏林形式分布，形成沙地榆疏林草原景观。灌木、半灌木和杂类草种类较为丰富，与沙地榆疏林共同构成乔、灌、草相结合的各种草地型。

在裸露的流动沙丘上，常形成以一年生或二年生植物为优势群落的先锋植被。沙地中分布最广的沙生先锋植物为沙米(*Agriophylluns arenarium*)、虫实(*Corispermum spp.*)、猪毛菜(*Salsola collina Pall.*)、雾冰黎(*Bassia dasyphylla (Fish.et Mey.) O.Kuntze*)、狗尾草(*Setaria viridis*)等。此外，灌木、半灌木沙生先锋植物黄柳、褐沙蒿等在流动沙地上也有零星分布。在固定、半固定沙丘及平沙地上，常见的灌木植被主要群落有锦鸡儿、黄柳、绣线菊等群落。半灌木植被群落主要有褐沙蒿、冷蒿等。草本植物相对丰富，主要有糙隐子草、沙生冰草、苔草、百里香、唐松草(*Thalictrum L.*)、叉分蓼(*Polygonum divaricatum*)、防风等。丘间低地植物相当茂密，形成草甸植被。

桑根达来镇地表水资源分布不均，缺少河流，有桑根达来淖尔、札格斯台诺尔等大小湖泊 20 多个。地下水相对丰富，尤其在丘间低地中，潜水埋深一般在 1~3m，有的仅为 50cm 左右，水质尚好，在地下 50~70m 左右有较厚的含水层，开发利用地下水建设人工植被的条件较为优越。流动沙丘上的干沙层厚 2~10cm，湿沙层含水量 4% 左右，为沙地先锋植物群聚的形成提供所需的水分。

2.2.2 镶黄旗文贡勿拉苏木概况

镶黄旗位于浑善达克沙地西南部，地理坐标范围东经 113°22'~114°45'，北纬 41°56'~42°45'。在镶黄旗北部的文贡勿拉苏木，地形地貌以固定、半固定沙丘以及沙漠化地为主，属中温带干旱大陆性气候，多年平均降水量 267.4mm 左右；年均蒸发量 2252.2mm；10℃ 以上的积温 2272.7℃；全年盛行西风和西北风，以四、五月份最盛，最大风速 24m/s，多年平均 8 级以上大风天数 60d。

镶黄旗文贡勿拉苏木地带性土壤为淡栗钙土亚带，由于浑善达克沙地南缘的侵入，形成了沙质土壤，大多为固定和半固定沙丘。另外，受地形和浑善达克沙地影响，在地带性草原植被基础上，又产生了非地带性沙生植被和盐化草甸植被。

文贡勿拉苏木出现了典型草原向荒漠草原过渡的特征，短花针茅(*Stipa breviflora* Griseb)为主要建群植物。小叶锦鸡儿广泛分布，主要受地形和土壤的影响，小叶锦鸡儿在覆沙区域生长发育较好。由于受浑善达克沙地南缘的侵入，出现了沙鞭(*Psammochloa mongolica*)、沙米(*Agriophylluns arenarium*)、沙蒿、沙生冰草、骆驼蓬(*Peganum harmala* L.)等退化指示植物。

第三章 研究内容与方法

本研究采用Landsat5的TM(Thematic Mapper)传感器和Landsat7的ETM+(Enhanced Thematic Mapper+)传感器所获得的图像,结合地面调查,通过不同的遥感图像增强技术,探索草原沙漠化信息提取方法。在此基础上对浑善达克沙地沙漠化动态变化进行分析。

3.1 信息源

收集浑善达克沙地气象、畜牧业、沙漠化类型分布、植被等资料;搜集浑善达克沙地分布图、沙漠化类型图、浑善达克沙地区域的行政区划图等图件资料。

对行政区划图、道路、浑善达克沙地分布图等进行矢量化处理,生成shapeFile格式文件。

由于云量等因素,本文使用的遥感图像为2000年7月底和2004年8月初陆地卫星TM数据,分别是编号124-30和125-30两景图像。本研究主要选用了TM1、TM2、TM3、TM4、TM5和TM7等分辨率为30m的波段,而热红外波段TM6,由于分辨率较低,没有选用。

3.2 数据分析软件

对遥感数据的处理主要是通过ERDAS IMAGINE 8.7遥感图像处理专用软件,实现遥感图像的几何校正、镶嵌、挖取等图像预处理工作;实现沙漠化遥感信息增强处理、点属性的提取、分类分级以及分类精度验证等工作。

对图纸图件材料进行扫描,然后通过Mapinfo附上地理信息,进行矢量化,通过ArcGIS 9.0软件进行投影变换等。通过数学统计分析软件SPSS对地面数据与遥感数据之间的相关性进行分析,建立回归模型。

3.3 草原沙漠化地面调查方法

基于草原沙漠化信息在遥感图像所表现的复杂性,本研究在调查过程中考虑沙漠化信息的时间、空间和地域的特性,选择了镶黄旗北部的文贡勿拉苏木和正蓝旗中部的桑根达来镇典型区域进行地面调查。

3.3.1 调查路线及样地选择

调查路线沿着沙漠化梯度,在不同沙漠化等级的草原中心和过渡带进行地面调查。样地选择在沙漠化草原的典型地段,充分反映固定沙地、半固定沙地和流动沙地的实际情况。

3.3.2 样方调查

根据实际情况,在样地的代表性区域选择样方进行调查,记录样方内植物群落的种类组成及地面的基本特征等,具体内容包括调查时间、经纬度、海拔、地形地貌、坡度、坡位和坡向、土壤类型、沙漠化类型、沙丘密度、表面特征和含水量、利用程度、方式和载畜量、植被组成、植物高度、盖度和产量。

3.4 草原沙漠化野外光谱数据采集技术与方法

光谱反射率是指物体反射的辐射能量占总入射能量的百分比。通过便携式光谱仪(美国 ASD FieldSpec™ FR 全波段野外光谱仪)测定不同地物在不同波长下的反射率,得到沙漠化草原各地物的反射光谱曲线,从而确定不同地物在遥感图像相应波段的反射率差异,为草原沙漠化信息提取确定最佳波段组合。

3.4.1 ASD FieldSpec™ FR 全波段野外光谱仪的特点

ASD 各波段光谱采样间隔为:1nm(350nm~1050nm);2nm(1000nm~2500nm)。光谱分辨率为:3.5nm(350nm~1050nm);10nm(1000nm~2500nm)。ASD 探测器工作方式:探测器350nm~1050nm 为 512 阵元 PDA(Photo Diode Array),并用 PE 制冷,保证了较高的信噪比;1000nm~1800nm 及 1800nm~2500nm 采用两个具有高响应速度的 InGaAs(铟镓砷)探测器单元。

3.4.2 采样路线

路线调查的主要目的在于掌握草原沙漠化主要类型的波谱变化情况。因此采集路线主要选择在流动沙地和半固定以及固定沙地的结合部位,与地面调查路线一致,同步进行。

3.4.3 样地大小及采样数量

由于光谱仪的信噪比随着采样点数的增加而增加,样地越大,参与计算平均光谱的采样点内的特征值也就越多,噪音就可以被降低。

当地表植被较复杂且光谱成分不惟一时,应尽可能选择较大的样地进行测量,以有效提高光谱仪的信噪比。同时,样地内地物多样性越大,光谱的空间多样性也越大,要得到能较好反映地面综合特征的平均光谱特征,就必须进行较多的采样;在地表覆盖较单一且光谱的空间分布也均一的情况下,则可以适当减小采样点数(李海萍等,2003)。

3.4.4 采样时间

由于野外光谱测量利用太阳作为辐射源,工作环境在野外,在光谱数据的采集易受光照条件、风、阴影等因素的影响,因此可以通过选择环境条件较稳定的时间进行光谱测量,即在测量时间

上保持同步或准同步，以尽可能消除差异，像选在晴朗、无风的天气，时间通常选择 10 点至 14 点之间进行测量较为理想。根据实际情况，加上人力、物力等条件的限制，我们采样时间选择在 9 点至 15 点之间。

3.5 草原沙漠化信息提取

3.5.1 草原沙漠化光谱特征分析

采用 ASD FieldSpec™ FR 全波段野外光谱仪进行实地采集固定、半固定及流动沙地不同植被盖度下的光谱值，生成不同沙漠化程度的地物光谱特征曲线。

我们还基于 TM 图像的偏置与增益等信息，通过反射率公式得到各波段的反射率图像，再进行组合，并生成不同沙地类型地物的光谱反射特征曲线。同时还直接利用地物的灰度值，生成各地物灰度值在各波段变化曲线，该曲线在一定程度上反映地物反射特征。

通过这三种途径分析不同草原沙漠化类型的反射特征。

3.5.2 波段的选择与组合

考虑到沙漠化土地、植被、裸地、盐碱地、水体等地物的在各波段中的光谱反射特征、各波段所包含的地物信息量等方面，还要考虑光谱反射曲线斜率、以及亮度值的差异性。并通过计算，确定最优组合，从 6 个波段（不包括第六波段）中选取 3 个特定波段。然后再组合增强后的图像。

3.5.3 草原沙漠化图像增强

对前期工作和相关文献的分析发现：比值、主成分分析和植被指数增强等图像增强处理是提取沙漠化信息比较理想的方法。同时考虑到草原沙漠化与土壤表层水分等有直接的相关性，通过缨帽变换获取湿度面、植被面和土壤面等，从侧面来反映草原沙漠化信息。基于此，我们从四个大的方面进行图像增强处理。

3.5.3.1 比值增强处理

在选取特定波段的基础上，根据要提取的地物目标（沙漠化土地、植被、裸地、水体、盐碱地等）在各波段所反映的信息差异（波段间地物反射曲线大小），进行比值运算，得到一系列的比值图像，对其进行分析得到较理想的比值图像，再结合原图像进行比值图像间的相关性分析，在此基础上组合生成较理想的反映草原沙漠化信息的图像。

3.5.3.2 主成分变换

主成分变换是对草原沙漠化信息提取另一比较理想的方法。当波段间信息相关性较大时，采用主成分变换将原图像信息重新分配，突出了前几个分量的数据占有量，有效地降低数据维数，

减少数据冗余，突出沙地与植被等地物之间的灰度差异。

3.5.3.3 植被指数增强

植被指数有效增强植被信息，进而增强了植被与沙地信息的差异，从而有效地区分植被和沙地等信息。同时，植被盖度可直接反映草原沙漠化等级，通过建立植被盖度与NDVI关系模型以及通过定位找到纯土壤和纯植被的NDVI，直接计算植被盖度，从而实现草原沙漠化信息的提取。

3.5.3.4 缨帽变换

通过缨帽变换可提供土壤、植被和湿度等三个信息面。土壤面实际上是TM的6个波段的加权和，反映出图像总体的反射值；植被面是近红外与可见光部分的差值，反映了绿色植物的特征；湿度面反映了可见光与近红外波段1~4波段与红外波段5、7波段的差值，而5、7波段对土壤湿度和植被含水量最为敏感，易于反映出湿度特征。

草原沙漠化信息与表层土壤含水量、土壤信息具有相关性，同时也可从植被角度来反映其沙漠化信息。

3.5.4 草原沙漠化植被盖度分析

直接对原始图像进行处理，生成植被指数图像，通过地面调查数据与NDVI图像进行匹配，建立植被盖度与NDVI间的关系模型，得到植被盖度图像，生成的盖度图像根据分级标准进行分级；或者通过植被盖度经验计算公式生成的盖度图像，设定阈值进行分类、分级，前提是要确定纯植被和纯土壤的植被指数值，可以在调查时通过定位的方式来确定纯植被和纯土壤位置，然后提取出纯植被和纯土壤的植被指数值。

3.5.5 草原沙漠化非监督分类和监督分类

通过沙漠化遥感信息增强处理后，结合选择的TM5、TM4和TM3，进行波段组合，然后进行分类分级。

考虑到非监督分类的自动分类以及监督分类的较准确等优点，我们在对研究区详细了解的基础上，对增强后的组合图像进行非监督分类，并进行了类的合并，聚类统计、去除分析等完成小图斑的处理，并进行类的合并及分类后处理。同时对研究区域进行了训练，实施监督分类。

3.5.6 精度验证

对分类后的遥感专题图像，利用ERDAS IMAGINE软件的分类评价功能，进行分类结果与实测数据进行对比，得到分类误差矩阵进行分析。

地面实测数据一部分用于建立植被盖度估测模型和非监督和监督分类，另一部分用于分类数据的验证。在通过植被盖度分类结果的验证分析时，大部分数据都用来进行模型的建立，这样模

型的拟合度较高, 然后利用所有实测数据进行分类数据验证。

3.6 草原沙漠化动态分析

分别对 2000 年和 2004 年的遥感图像进行分类和沙漠化等级划分, 然后通过矩阵分析, 分析浑善达克沙地沙漠化变化动态及其变化原因。

3.7 技术路线流程图

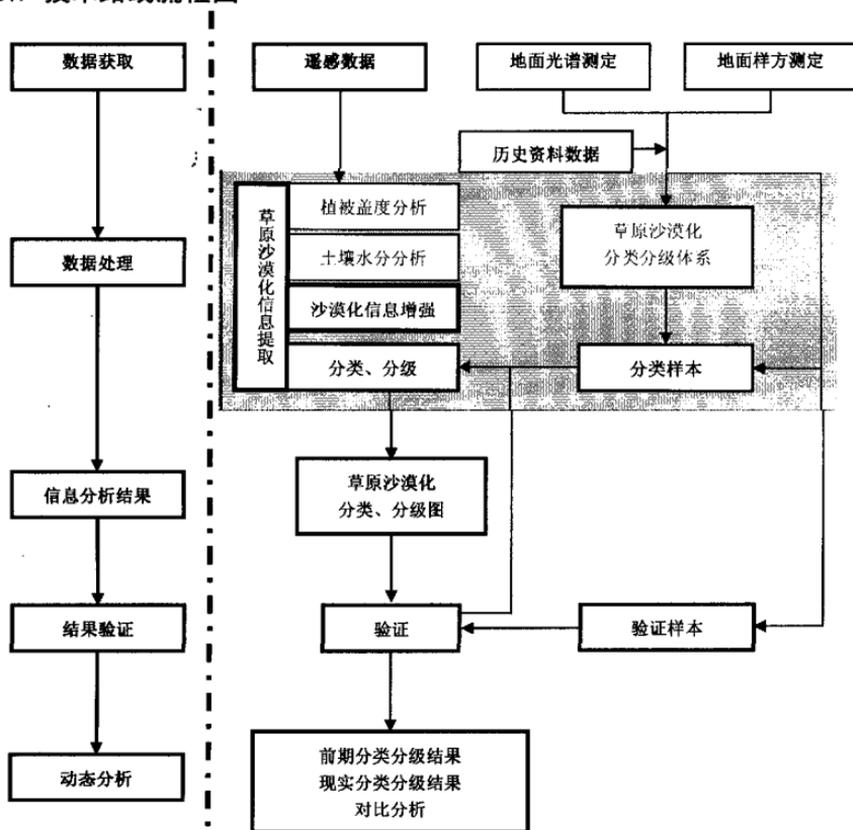


图 3-1 草原沙漠化信息提取技术路线

Fig. 3-1 The technological route of grassland desertification information extraction

第四章 草原沙漠化信息提取

4.1 图像校正

几何校正是遥感图像信息提取的一个相当重要的步骤。由于遥感传感器系统本身以及一些随机因素所导致的遥感图像发生几何变形。如因飞行器的姿态（测滚、俯仰、偏舵）、高度、速度以及地球自转等因素而造成图像相对于地面目标发生畸变，表现为像元相对于地面目标实际位置发生挤压、扭曲、拉伸和偏移等现象。进行几何纠正就是要从这两方面考虑以最大限度地弥补由这些因素所导致的变形。

通过 GPS 仪获取遥感图像中分布均匀的一系列像元的地面真实位置，即几何纠正的地面控制点（Ground Control Point, GCP），由于浑善达克沙地交通不便等原因，在一些区域无法直接获取 GCP 点，我们结合以前校正过的 TM 遥感图像作为校正参考，将校正模型的标准均方误差（Root Means Squared Error, RMSe）控制在 0.5 个像元以内。

4.2 图像镶嵌和挖取

由 Landsat TM 的参数可知，其扫描幅宽为 185km，一景的图像不能满足浑善达克沙地监测需要；因此要对遥感图像进行镶嵌。由于不同时相或不同轨道的图像获取的辐射水平存在差异，量化的参数（增益和偏置）也不一致，因而在相互重叠的区域它们的灰度值也存在差异，镶嵌时，需要进行直方图匹配。然后设置重叠区域灰度值采样方法为均值，进行图像的镶嵌。如图 4-1 是轨道编号为 124-30 和 125-30 两景 TM 数据进行镶嵌的结果。



图 4-1 124-30 和 125-30 镶嵌后的遥感图像

Fig. 4-1 Remote sensing mosaic image by 125-30 and 124-30

同时我们在浑善达克沙地的边缘区域选择两个典型研究区域，分别为镶黄旗的文贡勿拉苏木和蓝旗的桑根达来镇，为了便于分析，我们将这两个区域的遥感图像进行了挖取（见图 4-2）。

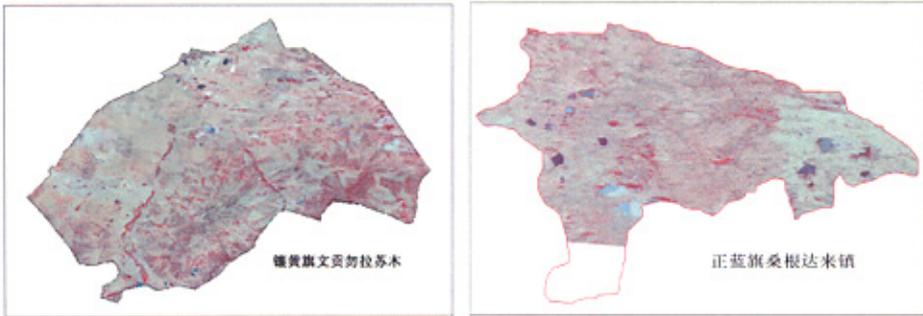


图 4-2 典型研究区域

Fig. 4-2 The typical study area

4.3 草原沙漠化光谱特征分析

4.3.1 基于地面光谱采集数据的光谱特征分析

选择不同沙漠化区域，采集了半固定、固定和流动沙地区域的各样点的光谱值，并采集了纯植被和纯裸沙的光谱值。

结合样方记载数据，通过采集不同地物的光谱数据生成光谱特征曲线如图 4-3。

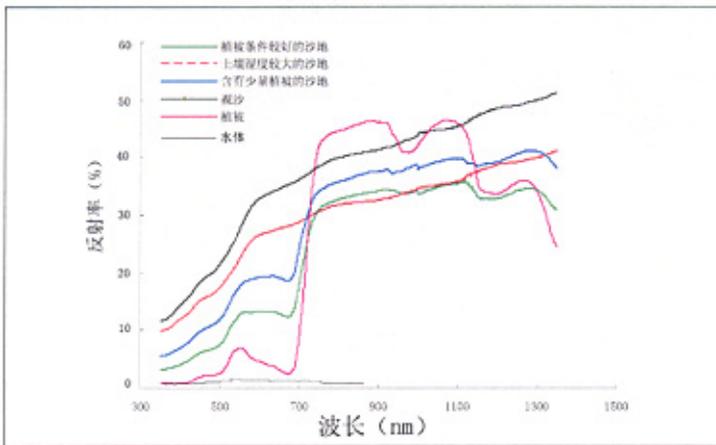


图 4-3 草原沙漠化沙地主要沙地类型反射光谱特征曲线

Fig. 4-3 The spectrum characteristic curve of the main sand type of grassland desertification

从上图可以看出：

1) 植被的反射光谱曲线（光谱特征）明显而独特，主要分三段：可见光（ $0.4\mu\text{m} \sim 0.76\mu\text{m}$ ）有一个小的反射峰，位置在 $0.55\mu\text{m}$ （绿）处，两侧 $0.45\mu\text{m}$ （蓝）和 $0.67\mu\text{m}$ （红）则有两个吸收带。这一特征是由于叶绿素的影响，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（ $0.7\mu\text{m} \sim 0.8\mu\text{m}$ ）有一反射的跃变，至 $1.1\mu\text{m}$ 附近有一反射峰。这是植被叶细胞结构的影

响，除了吸收和透射的部分，形成的高反射率（见图 4-3）。

2) 自然状态下，土壤表面的反射率没有明显的峰值和谷值，一般来讲土质越细，反射率越高，有机质含量越高和含水量越高反射率越低，此外土壤类型和肥力也会对反射率产生影响。但就沙漠地而言，大约在 0.6 μm 附近有个反射峰，总体表现高的反射率（见图 4-3）。

从上图可以看出，在 0.45 μm ~0.69 μm 和 0.74 μm ~0.90 μm 波长范围内，沙地和植被等地物信息反射差异显著；在 0.45 μm ~0.69 μm 波长范围内，不同沙漠化类型光谱反射差异明显，并且随着土壤含水量的增加，植被盖度的增加，反射率呈明显下降趋势。

4.3.2 基于遥感图像的地物光谱特征分析

4.3.2.1 遥感图像地物反射率计算

遥感数据源主要有 Landsat 5 TM 数据，图像轨道编号是 path = 125, row = 30 和 path = 124, row = 30。接收时间为 2004 年 8 月 14 日。

首先对 Landsat TM 遥感图像单波段建立反射率计算与分析模型，进行反射率分析，然后再进行组合，得到六波段的反射率组合图像。

先从遥感图像的头文件中分别读取图像各波段的 gain 和 bias，即图像的增益与偏置。然后通过公式：

$$L = DN \times gain + bias \tag{4-1}$$

计算相应波段各个像元的辐射能量值（姜小光等，2004）。其中 L 为地物在大气顶部的辐射能量值，单位为 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ ；DN 为各个波段像元灰度值。

根据各像元的辐射能量值，并从图像的头文件中读取成像时的太阳高度角，计算出太阳天顶角（即太阳高度角的余角），选取各波段的大气顶部的太阳辐照度，各波段的 E_0 值见表 4-1。然后通过公式：

$$\rho = \pi L d_s^2 / (E_0 \cos \theta) \tag{4-2}$$

计算出各像元在各波段的反射率。其中 d_s 为日地天文单位距离，取值 1。

表 4-1 TM 5 图像各波段参数

Tab.4-1 Wave bands parameter of TM5 data

波段	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
波长 (μm)	0.45~0.52	0.52~0.60	0.63~0.69	0.76~0.90	1.55~1.75	2.08~2.35
天顶辐射能 ($\text{W} / \text{m}^2 \cdot \mu\text{m}$)	1954.00	1826.00	1558.00	1047.00	217.20	80.29
增益	1.05804	2.58545	1.61277	3.00067	0.71070	0.46930
偏置	-0.0134	-0.0300	-0.0132	-0.0295	-0.0093	-0.0054
200408140 (WRS=124/03000)	35	35	35	35	35	35

在此基础上，进行各波段反射率图像的组合。再结合地面调查数据，从反射率合成的图像上选取包括水体、草本、灌木、裸沙等典型地物。然后绘制各主要地物的反射率光谱曲线（见图 4-4）。

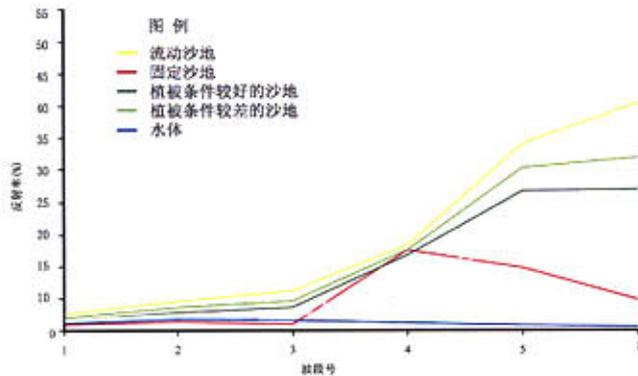


图 4-4 草原沙漠化区域主要沙地类型地物反射光谱曲线

Fig. 4-4 The spectrum curve of main sand type in desertification area

4.3.2.2 反射波谱特征分析

通过遥感图像直接得到的地物光谱反射特征曲线，见图 4-4。从中可以看出，在波段 3~7 中流动沙地、固定沙地、半固定沙地及水体反射率差异比较明显，尤其是在组合中的第五和第七波段差异较大。

流动沙地的反射特征无论在哪个波段，均表现高的反射率；半固定沙地在第五波段反射率达到最大，之后呈平缓趋势；而固定沙地在第五波段后表现反射率下降趋势。

4.3.3 各沙地类型波段间灰度值变化分析

直接从 TM 图像中选取各沙地类型像元值，得到固定沙地、半固定沙地和流动沙地三种类型沙地的灰度值变化曲线（见图 4-5），流动沙地的曲线反射率很高，从 3、4 波段的灰度值看出其植被条件较差，裸沙对太阳辐射的反射很强，各波段的灰度值均高于其他沙地类型。间断线代表的类型 5、7 波段反射率较低，属于半固定沙地，从 3、4 波段对比看，植被的盖度比较高。中间虚线所示类型植被指数明显升高，与草原的波谱曲线有所接近，但盖度并不高，因而属于中度沙漠化。

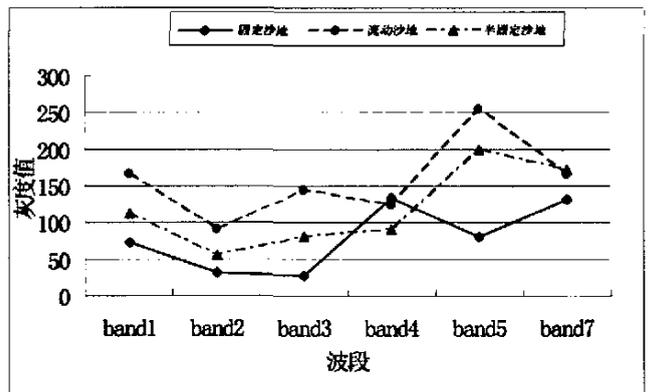


图 4-5 各沙地类型在各波段间的灰度值变化

Fig. 4-5 The grey value change of sand type in every wave band

4.4 草原沙漠化遥感信息提取波段的选择

就 TM 图像光谱波段及其主要用途(见表 4-2)。了解各种不同图像的光谱特征及其用途,是进行遥感应应用研究的基础和出发点。在这基础之上,以及光谱特征分析结果,来确定选择哪些波段可以更好地地区分草原与沙漠化等信息。

表 4-2 TM 图像光谱波段及其主要用途

Tab.4-2 The main use of TM image spectrum wave band

波段	波长范围 (μm)	地面分辨率(m)	主要用途
TM1	0.45-0.52 蓝波	30	水体穿透性良好, 很适合于海岸制图。用于区分针叶林、阔叶林、土壤与植被也较理想
TM2	0.52-0.60 绿波	30	对应于健康植被的绿反射区, 很适合于植被的绿反射峰的测量研究。也适合于水体污染监测
TM3	0.63-0.69 红波	30	探测植物叶绿素吸收的差异, 是区分土壤边界和地质体边界的最有用的可见光波段
TM4	0.76-0.90 近红外	30	适于绿色植被类型, 作物长势和生物量调查
TM5	1.55-1.75 中红外	30	岩石种类、云层、地面冰积和雪盖等, 适合于区分水陆界限以及雨后的土壤湿度测量
TM6	10.4-12.5 热红外	120	热强度测定分析
TM7	2.08-2.35 中红外	30	适于地质制图, 对区分健康植物和缺水现象也是很有用的

遥感图像波段选择, 是沙漠化信息提取成功与否的关键, 国内外学者在这方面作了一些研究, 但也存在一些问题。有的只是传统地采用前人选择的波段, 缺乏分析, 致使说服力较差。譬如, 多数人在利用 TM 图像进行专题研究时, 常袭用 TM4、TM3、TM 2 波段进行假彩色合成。黄敬峰等(1999)在对干旱区土地利用研究时, 在对遥感图像各波段光谱值进行标准差比较的基础上选择 TM4、TM5 和 TM3 波段, 并结合 TM4、TM3、TM2 波段的假彩色合成, 达到较好的分类效果。有人是直接通过地物光谱反射特征曲线的对比, 再结合各波段的特征, 选定其中的波段(张晋开等, 1996)。倘若在经验以及地物光谱特征曲线分析的基础上, 再通过统计分析, 最后选定研究专题所需的波段, 这样分类等信息提取效果势必更加理想。这里我们对镶黄旗文图勿拉苏木的遥感图像进行统计分析, 得到各波段的标准差、最大值、最小值和均值, 并得到各波段间的相关系数(见表 4-3, 4-4)。

表 4-3 各波段数据数学统计分析表

Tab.4-3 The analytical table of wave band data

波段	最小值	最大值	均值	标准方差
1	0	255	49.079	45.831
2	0	143	29.847	28.098
3	0	232	51.569	49.221
4	0	234	53.533	49.898
5	0	255	93	87.663
7	0	213	51.015	48.793

表4-4 波段间的相关系数
Tab.4-4 The correlation Coefficient of wave bands

	波段 1	波段 2	波段 3	波段 4	波段 5
波段 2	0.9988				
波段 3	0.9943	0.9979			
波段 4	0.9942	0.9923	0.9865		
波段 5	0.9906	0.9922	0.9934	0.9900	
波段 7	0.9819	0.9861	0.9914	0.9792	0.9973

从表 4-3 和表 4-4 中可以看出, 第五波段的标准差最大, 第七波段、第三波段、第一波段、第四波段依次减小。1、2、3 波段之间的相关性很高, 表明可见光波段间的信息存在相当大的冗余; 波段 4 和其他波段相关性较小, 7 波段和 5 波段间的相关性较大, 同时 7 波段和其他波段相关性较 5 波段大。根据既减少数据冗余, 而又不减少信息量的原则, 结合单个波段的信息量和各波段间相关性, 可以看出第 5 波段信息量最丰富, 最终可以选择第 5 波段、第 4 波段、第 3 或第 1 波段等主要波段。这是直观的对标准差及相关性等数据的分析。

目前, 对多光谱遥感应用中最佳波段选择问题, 已有人分别提出了熵、联合熵、协方差阵列式以及最佳指数等多种不同的方法(李德熊, 1989; 戴昌达等, 1989; 陆灯盛等, 1991)。

由于熵以及联合熵的计算相当复杂, 在一般情况下, 采用最佳指数或者协方差阵行列式来求得信息量最大的波段组合, 在算法上, 这两种方法具有相近的计算复杂度(刘建平, 1999)。这里仅计算最佳指数来确定最佳组合, 主要是通过波段的标准差和波段间的相关系数来计算, 计算结果见表 4-5。

最佳指数(陆灯盛等, 1991): 美国查维茨提出了最佳指数(OIF)的概念, 即

$$OIF = \sum S_i / \sum R_{ij} \quad (i=1, 2, 3; j=1, 2, 3) \quad (4-3)$$

式中 S_i 为第 i 个波段的标准差, R_{ij} 为 i, j 两波段的相关系数。

表 4-5 TM 各波段组合的最佳指数比较表

Tab.4-5 Best index comparison table of TM wave bands

序号	波段组合	最佳指数	序号	波段组合	最佳指数	序号	波段组合	最佳指数
1	3、4、5	63.2088	8	2、3、5	55.3334	15	2、3、4	42.9642
2	4、5、7	62.9915	9	2、5、7	55.2250	16	2、4、7	42.9604
3	3、5、7	62.2785	10	1、2、5	54.1891	17	2、3、7	42.3237
4	1、4、5	61.7915	11	3、4、7	50.2384	18	1、2、4	41.6239
5	1、3、5	61.4209	12	1、4、7	49.0004	19	1、2、7	41.2872
6	1、5、7	61.3121	13	1、3、4	48.9878	20	1、2、3	41.2259
7	2、4、5	55.8414	14	1、3、7	48.4376			

从上表可以看出,通过最佳指数所得到的最佳波段组合为 3、4、5 波段,其次为 4、5、7 组合,3、5、7 组合,1、4、5 组合,1、3、5 组合,1、5、7 组合等。

结合波段间的相关系数、标准差及光谱特征曲线,本文拟选择波段 TM5、TM4 和 TM3,这里选择波段的目的并不是以 TM5、TM4 和 TM3 组合,目视解译,主要是为了和某些表现沙漠化信息的图像进行组合(像植被指数、主成分变换部分分量、比值图像等),通过监督分类和非监督分类等分类方式,能很好地识别沙漠化、植被等主要信息成分。

监督分类和非监督分类在 ERDAS 图像处理软件中是基于各波段都参与分类的基础上进行的数字图像分类。我们通过对遥感图像进行数字增强处理,主要包括基于光谱增强、辐射增强及空间增强等遥感图像增强技术,寻找出能很好地反映沙漠化信息的遥感图像,然后再组合到 TM5、TM4、TM3 进行监督和非监督分类,判读各沙地类型分布。

4.5 遥感图像沙漠化信息增强

图像增强用来突出沙漠化信息,增强沙漠化与其他地物间的阶差。主要包括辐射增强(Radiometric Enhancement)、波谱增强(Spectral Enhancement)和空间增强(Spatial Enhancement)三方面内容。空间增强是通过利用像元与其周围像元的灰度值关系进行运算,增大或缩小与周围像元灰度值之间的差异,达到增强整个图像的目的。辐射增强是根据整个图像灰度值分布特征,对特定的灰度值范围进行突出和弱化的处理。波谱增强是基于多波段数据的灰度值组合(向量),通过多维空间上的变换将波段转换为信息量不同的分量,改变目标信息的分布。但图像增强虽然增强了部分信息的表达,但剩余的信息必然受到弱化,因为任何图像处理方法都无法增加图像的信息量。

4.5.1 遥感图像彩色合成草原沙漠化信息特征

沙漠化草原在波谱特征上与其他土壤质地的草原有着明显的差异,不同类型的沙漠化草原波谱特征也不同。在研究植被时,常用的是假彩色合成图像,因为植被在近红外波段有较高的反射率,其次是在绿色波段。在草原沙漠化遥感研究中,植被信息也是一个关键的考虑因素。图 4-6 是研究区域文贡勿拉苏木 TM4、3、2 波段的假彩色合成图像,裸沙或植被盖度低的沙地表现为高亮度或白色,并有不同程度的纹理特征,如波纹状或岛屿状沙纹,这是重度沙漠化在图像的总体反映。植被条件较好的区域,整体上呈暗色,多为丘间低地或灌木聚集区,以固定、半固定沙地为主,根据地面情况,表现为轻度沙漠化。而色调稍浅、间有零星裸沙的区域,较暗色区域土壤裸露多,反射率增加,为中度沙漠化。

发现 TM5、TM4、TM3 波段分别赋予红、绿、蓝,进行假彩色合成图像中,沙质土壤、植被等信息反映效果较好(见图 4-7)。与 TM4、TM3、TM2 的 RGB 假彩色合成图像相比,水体、盐碱地、半固定沙地等信息易于辨别。

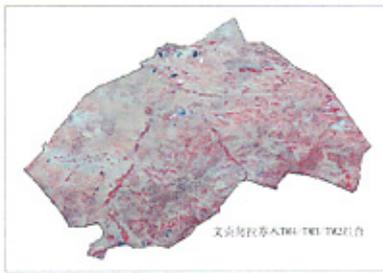


图 4-6 TM4-TM3-TM2 组合

Fig. 4-6 TM4-TM3-TM2 layer stack

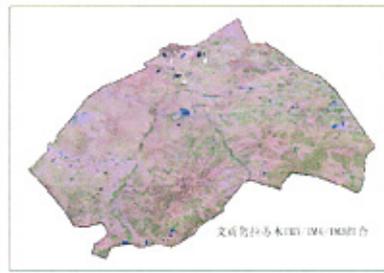


图 4-7 TM5-TM4-TM3 组合

Fig. 4-7 TM5-TM4-TM3 layer stack

针对草原沙漠化信息增强处理，总结前人研究成果以及对比分析，发现主成分分析、缨帽变换、比值、植被指数等效果较好。

4.5.2 主成分变换

主成分变换是一种多元统计技术，在数学上常称为 K-L 变换，它是在统计特征基础上的多维正交线性变换。其算法为：计算多波段图像数据的统计特征参数，得到反映各波段间关系的协方差矩阵，然后求其特征值和特征向量。这些特征值就是各主成分的方差信息，而对应的特征向量即为主成分变换的系数（载荷因子），变换前后方差总和不变，但把原来的方差不等量地分配到新的组分图像中，且第一组分往往占有方差的绝大部分，信息量最大，其余各组分所得方差依次减少。主成分分析并不制造新信息，也不改变图像几何形状，只是将图像信息重新分配，突出了前几个分量信息数据占有量。

对浑善达克沙地东部区域的桑根达来镇进行主成分分析。原始图像各波段之间的相关系数见表 4-6，可以发现：波段 1、2、3 之间的相关系数 > 0.9943，尤其是波段 1、2 之间相关系数达到 0.9988，波段 2、3 之间的相关系数达到 0.9979，均达到极显著水平，波段 3、5、7 之间的相关系数都 > 0.99，波段 5 和 7 之间的相关系数达到 0.9973 达到极显著水平。可见，信息具有较大的冗余，通过主成分变换，可以减少冗余，大大突出植被、沙地、水体等主要成分信息量。

在主成分转换过程中，主要是基于波段间相关矩阵的运算、特征值和特征向量的求解以及累计贡献率的运算等数学运算过程。表 4-6 是主成分分析后各主成分的特征值及其所占的信息量（各主成分反映的方差在总方差中的比例），前 3 个主成分占总方差的 99.962%，代表了图像绝大部分的信息。

表 4-6 各主成分的特征值及所占信息量

Tab.4-6 Characteristic value of every main composition and information proportion

	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6
特征值	28068.52	125.72	51.45	7.64	2.28	0.76
信息量%	99.335	0.445	0.182	0.027	0.008	0.003
累计信息量%	99.335	99.780	99.962	99.989	99.997	100.000

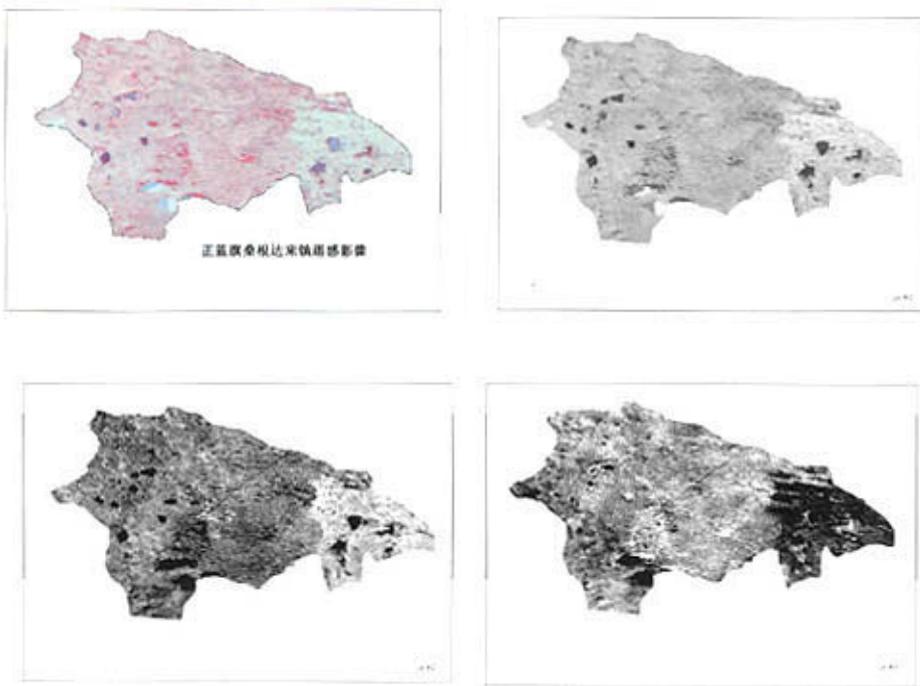


图4-8 TM4-3-2假彩色合成图像与主成分变换后的 $pc^{\#1}$ 、 $pc^{\#2}$ 和 $pc^{\#3}$ 图像

Fig. 4-8 TM4-3-2 image and $pc^{\#1}$, $pc^{\#2}$ and $pc^{\#3}$ image

上图是浑善达克沙地东北部区域桑根达来镇的 Landsat TM 图像进行主成分变换前后图像对比。在 $PC^{\#1}$ 图像中, 沙地、水体、植被等信息均能很好地突出出来, 沙地呈现白色, 灰度值较大, 而植被、水体等表现暗色调, 灰度值较小; 在 $PC^{\#2}$ 图像中, 沙漠化信息与植被、水体等信息明显地区分开来, 尤其是沙地与水体、植被等信息表现的差异较大, 沙地能很好地突出出来。在 $PC^{\#3}$ 图像中, 植被表现较高的灰度值, 能将植被等信息很好地提取出来。

通过主成分变换, 总体上, 各主要地物类型表现为单一的色调, 减少了次要信息所带来的干扰。

主成分变换的结果与图像区域大小有关, 由于不同区域存在着地物种类、土地利用等信息的差异, 尤其是不同区域的植被类型及构成比例、利用状况等有很大的差异, 在分析过程中选取的区域大小影响分析的结果。对浑善达克沙地进行主成分分析, 为了更好地突出沙地、植被等主要地物间的差异, 应分区进行主成分变换, 从而达到特定地物信息增强的目的。

4.5.3 缨帽变换

缨帽变换一般是由 R.J. Kauth 和 G.S. Tomas 两位学者首先提出的一种经验性的多光谱图像正交变换, 又称 K-T 变换, 主要是针对植被、土壤和水分等的波段特征而进行波谱增强的一种处理方法。缨帽变换也是通过一组特征向量对图像进行变换, 但与主成分分析的向量不同。主成分分析的向量是通过依次按照最大方差的分布方向确定特征向量; 而缨帽变换是利用经验的分析确定了一组正交的向量。针对不同的传感器, 缨帽变换提供了不同的特征向量, 像 MSS, 提供了亮度、

绿度和湿度3个主要的分量。

对TM遥感图像，把6个波段的图像看作一个6维空间，每个像元都是6维空间上的一个点，其位置取决于像元在各个波段上的数值大小(缨帽变换不需要6波段)。通过缨帽变换可提供土壤面、植被面和湿度面等(梅安新等, 2001)。

对研究区域分别进行缨帽变换，变换结果的前三个分量如下图。

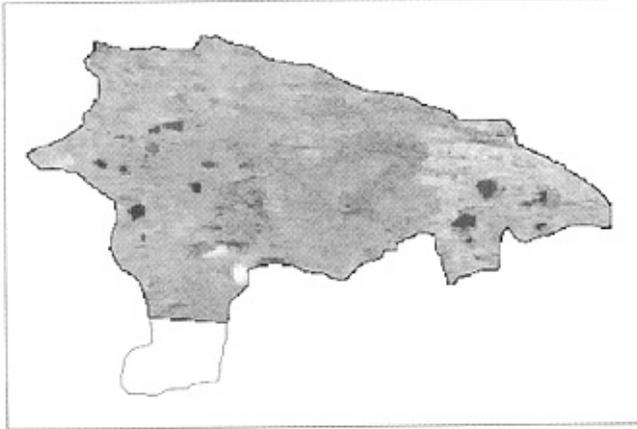


图 4-9 缨帽变换增强处理后的土壤面图

Fig. 4-9 The soil image by tassel cap strengthen

土壤面图像主要反映地物反射强度，从图 4-9 中，我们可以看到植被条件越差的区域，表现亮度越大，沙漠化越严重的区域，灰度值较大，随着植被盖度的提高，灰度值减小。水体在该图像中呈暗色，灰度值最小。该图像中，灰度值较大的流动沙地和水体能很好地区分开来。

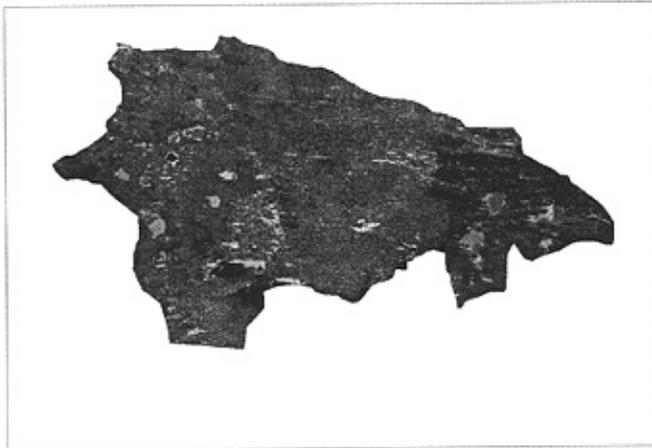


图 4-10 缨帽变换增强处理后植被面图

Fig. 4-10 The vegetation image by tassel cap strengthen

在图 4-10 中，植被条件越好的区域，灰度值越大，亮度越大，而在沙漠化严重区域呈现暗色，灰度值较小，能很好地将植被和沙地区分开来。而在湿度面图像中(见图 4-11)，水体表现亮色，植物区域，随着植被条件的不同，表现不同的亮度灰阶值，同时也随着沙漠化程度的加剧，暗色

递增趋势。可将水体、沙地等信息区分开来。

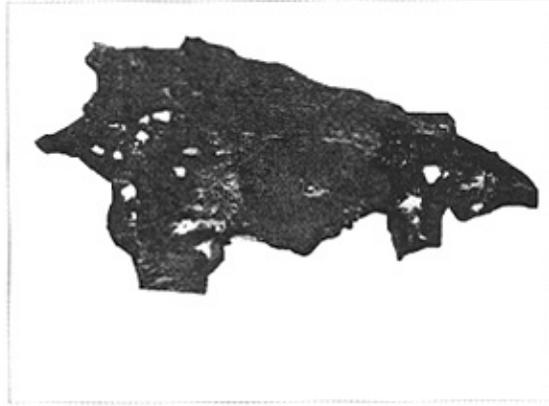


图 4-11 缨帽变换图像增强处理后的湿度面图

Fig. 4-11 The humidity image by tassel cap

4.5.4 植被指数增强

通过植被指数提取沙漠化土地中的植被信息，目前归一化植被指数被认为是效果较好、并且比较成熟的植被指数。归一化植被指数（NDVI）计算公式如下：

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (4-4)$$

图 4-12 为研究区域的归一化植被指数（NDVI）图像，未沙漠化、轻度沙漠化表现为高植被指数（白色区域），灰度值较大，中度沙漠化表现为灰色，灰度值较小，而重度沙漠化表现为黑色等暗色调，灰度值很小。NDVI 图像中，不同级别的沙漠化在灰阶上易于区分，尤其是轻度沙漠化和重度沙漠化，反差非常大。同时，可以直接设定阈值进行分类，亦可组合其他波段（包括原波段和增强后的图像），也可通过植被指数图像结合地面调查的盖度数据，建立植被指数与盖度之间的回归模型，根据草原沙漠化程度分级系统确立植被指数分类阈值，进行沙漠化分类分级。



图 4-12 桑根达来镇植被指数图

Fig. 4-12 The NDVI image in Sanggandalai

4.5.5 比值运算

当两个特征波段相关性较大时，我们采用主成分变换来增强信息；而当两个波段相关性较小时，由于采用主成分变换就会使得相关性很小的信息丢失，这时可以用比值来进行信息的增强处理。

比值 (Ratio) 运算，可以在一定程度上消除因地形、云层等使地面照度发生变化而导致同一地物出现不同亮度值的影响，或增加地物之间的反差，压抑无关的信息，达到增强目标信息的目的。

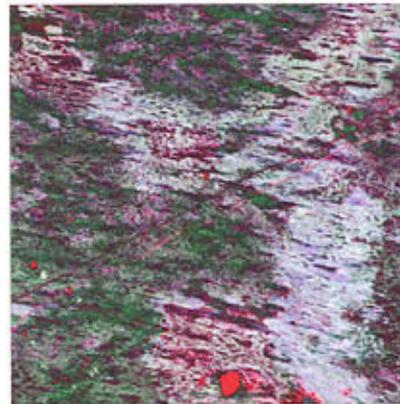
比值是以地物波谱的斜率为依据，简单易行。此外，比值运算是比例相关的，在生成比值图像时对原始波段的不同处理，可以导致差别很大的比值图像，常常扩大异常区。可以配合其他一些处理方法来进行图像处理。

图 4-13 为比值增强处理，根据地物波谱曲线特征以及波段间的相关性，同时考虑到地形等信息，并通过比较发现 TM3 和 TM4 进行比值运算，能很好的突出沙漠化信息，但同时，水体信息同时也得到增强（见图 4-13 左），可以与原图像中的 TM4 和 TM5 合成，形成含比值运算信息的合成图像，以区分出水体和沙漠化信息（见图 4-13 右），同时合成图像更加突出了半固定沙地信息（中度沙漠化），如图 4-13。



图 4-13 TM3/TM4 比值图像

Fig. 4-13 TM3/TM4 ratio image



TM3/TM4-TM4-TM5 合成图像

TM3/TM4-TM4-TM5 image

4.5.6 非沙漠化信息的去除

针对沙漠化土地遥感信息提取，要想得到专题的沙漠化信息，最好要把非目标物信息去除掉，以减少非目的信息的干扰。一些专家学者已在一些遥感应用的其他领域开始尝试利用掩膜技术去除其他信息 (R.D.Bardgett, 1991; 张晋开等, 1996; 马超飞等, 1998)。而沙漠化土地遥感研究中涉及到这方面的直接应用研究很少。

掩膜技术是在对遥感图像进行增强处理的基础上，根据需要选择一定阈值将图像二值化，和

专题信息图像进行乘法运算,从而达到消除非目标物信息的光谱干扰,来突出专题信息的一种技术(马超飞等,1998)。

由于阈值很难确定,这里主要是通过选取水体与其他地物信息差异较大的图像进行非监督分类,并进行二值化处理,然后通过掩膜技术去除水体信息,该方法效果较理想(见图4-14)。

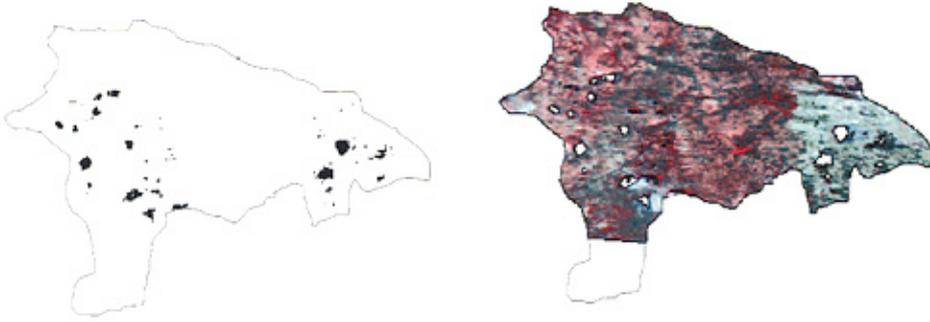


图 4-14 mask 图像与把水体掩膜后的图像

Fig. 4-14 The mask image and no water image

如图4-14,通过分类提取水体信息,然后将水体定义为0,其他区域定义为1。然后对桑根达来的原始遥感图像进行掩膜处理(见图4-14右),该图去除水体后经重采样,沙漠化与植被等信息区分更加明显,若通过掩膜后,在进行主成分分析、缨帽变换,NDVI等分析,提取沙漠化信息效果将更加理想。

在沙漠化专题信息与其他非目标物未组成混合像元的图像中,直接利用掩膜技术来消除图像中的非目标物部分,在这种情况下,掩膜技术是一种很有效的方法。针对沙漠化土地遥感图像,为了提取沙漠化信息,在同质图像区,可以对植被、水文等信息进行淹没处理,以达到突出沙漠化信息的效果。同时,在计算NDVI值时,水体区域仍有一定的值,这样得到的植被盖度图像中水体区域具有一定的植被盖度,要通过掩膜技术去除植被盖度图像中的水体对应的区域这一误差影响。

4.6 草原沙漠化评价分级指标体系的建立

依据植被盖度、地表覆沙面积等,沙地主要分为三种类型:

- a. 流动沙地 指植被盖度<10%、地表沙质常处于流动状态的沙丘和沙地。
- b. 半固定沙地 指植被盖度为10%~30%,且分布比较均匀,风沙流活动受阻,但流沙纹理仍普遍存在的沙丘和沙地。
- c. 固定沙地 指植被盖度一般>30%,风沙活动不明显,地表沙质稳定或基本稳定的沙丘和沙地,一般为乔木、灌木、草本混交的固定沙丘、沙地。

根据1994年~1996年全国沙漠化普查的地类划分标准以及2004年颁布的《天然草地退化、

沙化、盐渍化的分级指标》国家标准,本文制定了草原沙漠化的等级划分依据。划分依据强调对生产实践的指导性,如表 4-7 草原沙漠化划分四个等级,分别为未沙漠化、轻度沙漠化、中度沙漠化和重度沙漠化。

表4-7 草原沙漠化分级指标

Tab. 4-7 The classification index of grassland desertification

一级地类	二级地类	地类的主要特征	草原沙漠化分级
沙地	流动沙地	植被盖度<10%	重度沙漠化
	半固定沙地	植被盖度在10%~30%	中度沙漠化
	固定沙地	植被盖度在30%~60%	轻度沙漠化
草地		植被盖度≥60%	未沙漠化

4.7 植被盖度分析

植被盖度是指在一定范围内植被的垂直投影与地表面积的百分比,是反映地表信息的主要参数。在草原研究领域,植被盖度是草原沙漠化评价的重要指标。

目前,植被盖度的测量方法主要有地面实地测量和遥感反演等两种常用的方法。由于植被盖度具有时空动态差异特性,而遥感数据能及时、科学地反映地表信息时空变化,遥感数据的反演已成为估算植被盖度的主要技术手段。

一般来说,植被盖度由植被冠层形状、植被空间分布、叶子倾角及重叠等参量所决定。而遥感数据主要反映的是地物光谱特征,这里重点考虑的是植被的光谱特征,可见,植被盖度各个参量与植被的光谱特征并没有直接的关系,但是,利用遥感图像反演植被盖度时,地表反射率和植被光谱又是数据处理的基础,这就使得植被盖度遥感反演的过程变得相当复杂。

目前有关植被盖度遥感反演方面的分析研究,多集中在通过植被指数和混合光谱模型等方法来分析。

4.7.1 植被盖度反演研究概况

在遥感应用领域,植被指数作为反映地表植被信息的最重要信息源,已广泛用来定性和定量评价植被覆盖及其生长活力。

4.7.1.1 植被指数反演植被盖度模型

通过地面实地调查,在遥感图像上读取该样点的植被指数,然后建立实地调查样点的盖度与植被指数间的关系模型,这是通常采用的关系模型法。而关系模型一般是只适用于特定地区和特定的时间,因此应用起来有很大的局限性。

上世纪末,张仁华等(1996)提出了植被盖度与植被指数的模型

$$C = (\text{NDVI} - \text{NDVI}_s) / (\text{NDVI}_v - \text{NDVI}_s) \quad (4-5)$$

4-5 式中,NDVI_v和 NDVI_s分别为纯植被与纯土壤的植被指数;NDVI 为被求像元点的植被

指数; C 为植被盖度。其关键是要准确确定 $NDVI_v$ 和 $NDVI_s$, 我们可以通过地面调查点定位方式来确定纯植被和纯土壤的对应点的植被指数

陈云浩等(2001)考虑到在植被类型单一但垂直密度不同的情况, 分别得出了计算区域植被盖度的亚像元分解模型。

当植被垂直密度足够高时(叶面积指数 $LAI \rightarrow \infty$), 对应的植被指数 $NDVI_v \rightarrow NDVI_\infty$, 植被盖度公式为

$$C = (NDVI - NDVI_0) / (NDVI_\infty - NDVI_0) \quad (4-6)$$

4-6 式中 $NDVI_0$ 是纯土壤的 $NDVI$ 值。

当植被垂直密度较小($LAI \ll \infty$)时,

$$C = (NDVI - NDVI_0) / (NDVI_v - NDVI_0) \quad (4-7)$$

4-7 式中, $NDVI_v = NDVI_\infty - (NDVI_\infty - NDVI_0) \exp(-kLg)$; k 是消光系数。

显然, 这种通过地面调查定位来确定纯土壤和纯植被 $NDVI$ 值, 利用 $NDVI$ 计算植被盖度的模型简单方便。

4.7.1.2 植被盖度与混合光谱模型间的关系模型

遥感图像像元灰度值实际上是几种地物光谱信息的线性或非线性的综合反映。就有关混合光谱模型理论发展较成熟的是线性光谱模型, 即由不同地物形成的混合像元值可以表达成每种端元(Endmember)光谱的线性组合, 每端元乘以一个加权系数。在实际应用中, 加权系数被认为是各种端元在一个像元内所占的面积百分比, 与其盖度有很大关系(田静等, 2004)。张仁华等(1996)考虑到混合像元问题, 推算出一个植被盖度的模型:

$$C = (\rho - \rho_s) / (\rho_v - \rho_s) \quad (4-8)$$

4-8 式中, ρ 为植被与土壤混合光谱宽波段($0.4\mu\text{m} \sim 1.1\mu\text{m}$)反射率; ρ_v 为纯作物宽波段反射率; ρ_s 为纯土壤宽波段反射率。

该模型需要宽波段的反射率, 通常卫星所获得的遥感数据都是窄波段的反射率, 将窄波段反射率换算成宽波段反射率较为复杂, 且转换也存在一定的偏差, 因而不能很好的应用。

4.7.2 植被指数反演植被盖度

本研究, 通过地面实地调查得到的样点的植被盖度与提取样点的 $NDVI$ 图像中相应像元的植被指数, 建立关系模型, 进行植被盖度分析。同时通过选取纯植被像元的植被指数和纯土壤像元的植被指数通过植被盖度计算经验公式来分析植被盖度, 并比较两者的差异。

4.7.2.1 建立植被盖度估测模型

在野外地面调查中, 选择有代表性的样地进行样方测量, 每个样方重点记录样方的总盖度、植物种类、沙漠化程度、生物量等, 并用 GPS 精确测定样方的经纬度、海拔等。调查点分布见下图。

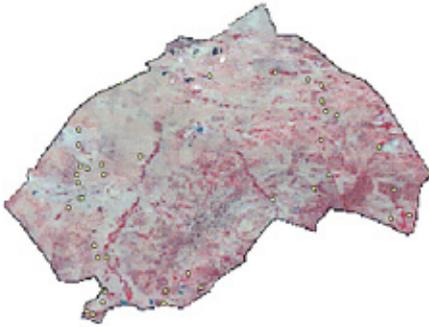


图 4-15 文贡勿拉苏木调查点分布图
Fig. 4-15 The research point in Wengongwula

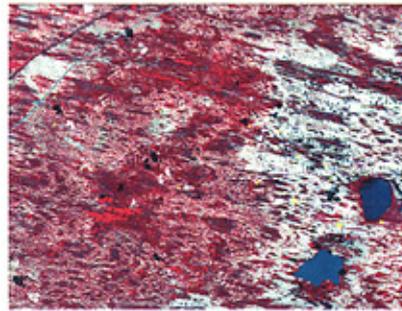


图 4-16 桑根达来调查点分布图
Fig. 4-16 The research point in Sanggandalai

然后进行归一化植被指数的生成，通过 ERDAS 软件中的生成点属性，在植被指数图像的基础上提取地面调查点的植被指数，调查点的植被指数与盖度见表 4-8。

利用 SPSS 数学统计分析软件，进行回归分析，得到线性回归方程的斜率和截距，建立植被盖度与植被指数的线性回归方程（见图 4-17 和表 4-9）。

表 4-8 浑善达克沙地调查点的盖度、植被指数统计表
Tab.4-8 The research point statistical table of vegetation cover, vegetation index

样方号	NDVI	盖度(%)	样方号	NDVI	盖度(%)	样方号	NDVI	盖度(%)
1	-0.0547	20	19	0.0594	20	37	-0.0526	20
2	-0.0300	10	20	0.4143	80	38	-0.0466	5
3	0.0294	50	21	0.0400	20	39	-0.0456	5
4	0.0337	20	22	0.0732	20	40	0.2278	25
5	0.0576	24	23	0.3008	35	41	-0.0857	7
6	0.0000	7	24	-0.0091	20	42	-0.0373	5
7	0.0667	20	25	-0.0783	15	43	-0.0316	15
8	0.0466	35	26	-0.0067	15	44	0.1282	35
9	-0.0047	40	27	-0.1128	15	45	0.1059	30
10	0.1304	60	28	-0.0787	15	46	0.0056	25
11	-0.0316	15	29	-0.1304	50	47	0.0000	15
12	0.1282	35	30	0.3729	21	48	0.0098	17
13	0.1059	30	31	0.0099	20	49	0.4172	80
14	0.0056	25	32	0.0423	30	50	0.4571	85
15	0.0000	15	33	0.0821	20	51	0.0594	20
16	0.0098	17	34	0.0317	40	52	0.4143	80
17	0.4172	80	35	0.0952	20	53	0.0400	20
18	0.4571	85	36	0.0207	20	54	0.0732	20

表 4-9 回归分析统计表

Tab 4-9 The statistical analyses table

方差来源	平方和	自由度	均方	F统计量	显著性
回归	12932.867	1	12932.867	105.096	**
残差	7137.316	53	123.057		
总和	20070.183	54			
相关系数	0.803				
拟合度	0.638				
斜率	115.482				
截距	20.046				

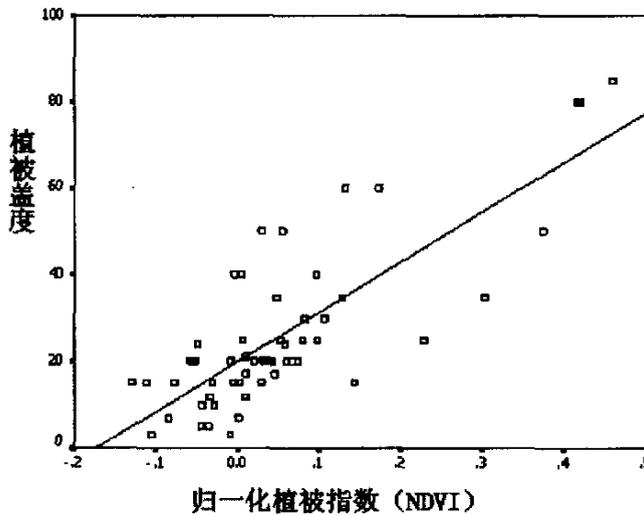


图4-17 浑善达克沙地调查点的植被指数与盖度线性回归曲线图

Fig. 4-17 The linear relevant analytical curve of vegetation index and vegetation cover

从表 4-9 可以看出，根据植被盖度和植被指数之间建立的回归模型，植被指数和植被盖度相关系数为 0.803，经 F 检验其相关性达极显著水平，拟合度为 0.683。得到植被指数与植被盖度模型为：

$$C = 115.482 \times NDVI + 20.046 \tag{4-9}$$

在此基础上，生成盖度分布图（见图 4-18）。然后依据草原沙漠化分级指标体系，将植被盖度图像进行分级（见图 4-19）。



图 4-18 通过建立植被盖度估测模型得到的植被盖度分布图
Fig. 4-18 The vegetation cover distribution image from model

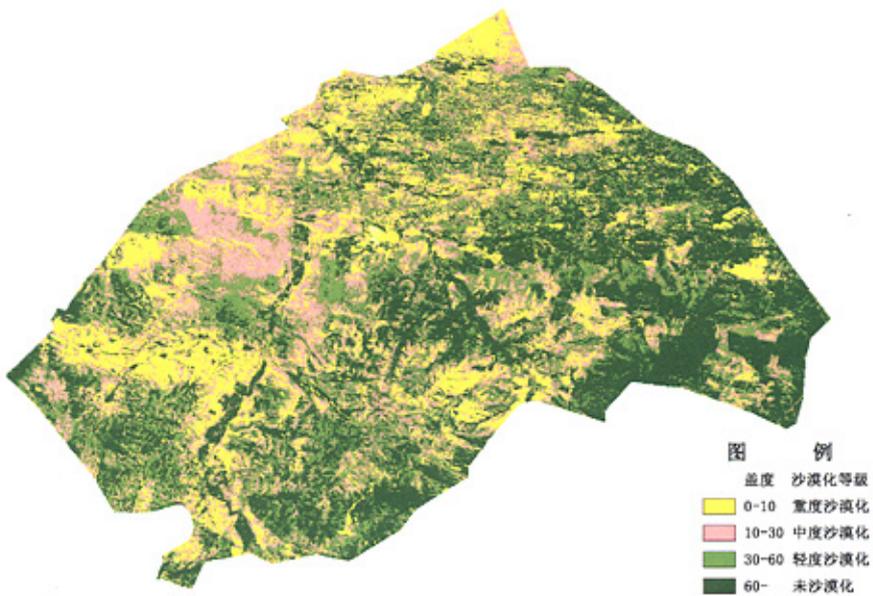


图 4-19 文贡勿拉苏木植被盖度与沙漠化等级分布图（通过建立估测模型）
Fig. 4-19 The grade distribution image of Wengongwula (from model)

4.7.2.2 植被指数经验公式反演植被盖度

通过地面调查，选取纯植被和裸沙进行定位然后提取该点对应像元的植被指数，得到纯植被的植被指数是 0.684，裸沙的植被指数为-0.369。首先通过 ERDAS IMAGINE 软件求取研究区域

各点的植被指数，然后代入公式 4-5。

经运算得到植被盖度分布图（见图 4-20）。同样进行盖度分级得到草原沙漠化等级图(见图 4-21)。



图 4-20 经验公式 4-5 计算得到的植被盖度分布图

Fig. 4-20 The vegetation cover distribution image from formula

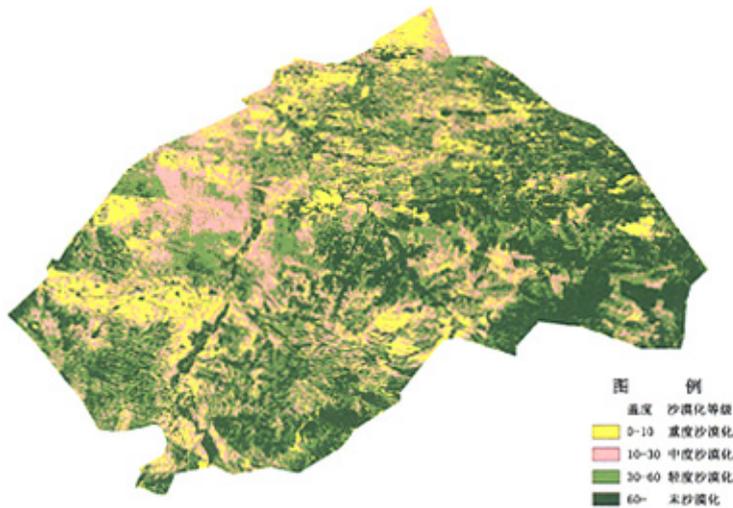


图 4-21 文贡勿拉苏木植被盖度与沙漠化分布图（通过 4-5 公式）

Fig. 4-21 The desertification distribution image (from formula)

4.7.2.3 两种方法植被盖度分析差异比较与精度验证

通过地面调查点进行精度验证，在建模时，用了 54 个调查点，由于人力、物力等原因，获得的总采样点数较少，两个研究区域共有 102 个调查点，通过其余的 48 个点用来进行精度验证。

通过对计算公式所得到的盖度分级图像，对精度分析报告整理结果如下：

表 4-10 对通过建立植被盖度估测模型得到的草原沙漠化等级分级图像精度验证结果

Tab.4-10 The verify result of the grassland desertification classification from model

类别	实测数据	分类数据	正确分类数	制图精度	用户精度
未沙漠化	17	20	17	100.00%	85.00%
轻度沙漠化	16	15	13	81.25%	86.67%
中度沙漠化	10	8	7	70.00%	87.50%
重度沙漠化	5	5	4	80.00%	80.00%
总和	48	48	41		
总精度 = 85.42%					

表 4-11 对通过植被指数盖度计算经验公式得到的草原沙漠化等级分级图像精度验证结果

Tab.4-11 The verify result of the grassland desertification classification from formulary

类别	实测数据	分类数据	正确分类数	制图精度	用户精度
未沙漠化	17	23	17	100.00%	73.91%
轻度沙漠化	16	6	6	37.50%	100.00%
中度沙漠化	10	12	8	80.00%	66.67%
重度沙漠化	5	7	5	100.00%	71.43%
总和	48	48	36		
总精度 = 75.00%					

表 4-12 两种方法植被盖度分析差异比较表

Tab. 4-12 Two method vegetation cover analyze the difference comparison sheet

沙漠化等级	建立估测模型结果 (ha)	用户精度	经验公式结果 (ha)	用户精度
重度沙漠化	23995.98	80.00%	19153.49	71.43%
中度沙漠化	40746.69	87.50%	43084.71	66.67%
轻度沙漠化	48166.2	86.67%	50008.35	100.00%
未沙漠化	52484.85	85.00%	53147.17	73.91%
总面积 (结果)	165393.72	85.42%	165393.72	75.00%

发现，通过大量的地面调查数据建立的盖度分析模型分类精度较高，总精度达到 85.42%，而重度沙漠化分类精度较其它类低，这也是导致重度沙漠化分类结果较高的原因。与直接通过经验公式计算植被盖度而言，通过建立植被盖度估测模型进行生成植被盖度图像，然后进行分级效果较理想，而通过经验公式计算，效果较差，其分类精度仅有 75.00%。可见经植被盖度估测模型得到的分级精度较高。效果较理想。

4.7.3 植被盖度反演的影响因素

植被盖度反演受植被特征、太阳天顶角、观测角度及土壤背景及大气等因素的影响。一句话，

植被指数的环境因素,对植被盖度均有不同的影响。这里仅以植被特征和土壤背景两方面进行说明。

植被冠层的形状、叶子倾角和植被空间分布共同决定了植被的投影特征以及叶间的和植被间的重叠特征,从而影响在不同太阳角度下太阳直接照射植被面积的比例以及在不同观测角度下视场中植被所占的比例,进而影响植被盖度的估算。

土壤背景的反射特征是影响植被反射波谱特征的重要因素。土壤背景反射率的空间变化与土壤结构、构造、颜色和湿度等有关。植被盖度越小,观测视场内土壤所占比例就越大,土壤背景对植被光谱的影响就越大。Ranga B Myneni 等(1991)研究发现:NDVI 随植被覆盖率的增加而增加,但二者斜率的大小取决于叶面积指数(LAI)和土壤背景反射,对 LAI 较小(植被稀疏)的植被且亮色背景土壤,二者呈线性关系;对 LAI 较大且深色背景土壤,二者则呈非线性关系。

4.8 草原沙漠化与水分分析

导致草原沙漠化的一个重要原因就是干旱,土壤湿度是草原生态系统的重要生态因子,尤其是地表水分状况,决定着草原沙漠化的发生与演化。陈文瑞等(1998)研究发现流动沙地的水分状况可分为三个时期,即消耗期、补给期和稳定期。可见地表水分状况与草原沙漠化的演化息息相关。

浑善达克沙地交通不便,通过选点进行土钻取土,烘干称重法测定土壤含水量,变得异常艰难。近几年,许多人已经开展了利用遥感图像来反演土壤含水量等研究。

4.8.1 土壤水分研究

张远东等(2003)在荒漠绿洲景观上进行了 NDVI 与气候、水文因子的相关分析,发现与绿洲 NDVI 相关显著的因子依次为气温、地下水位和降水;荒漠稀疏植被 NDVI 与绿洲气候、水文因子相关不显著且相关分析缺乏实际意义。普布次仁在研究了 NDVI 与降水量、土壤湿度的关系时发现:土壤湿度除了生长季中期外,与 NDVI 无明显相关性,通过 NDVI 评价土壤湿度具有一定的难度。在浑善达克沙地,总体来说,植被条件较差,不易通过植被指数来监测土壤水分。

根据 GMS(Geostationary Meteorological Satellite)红外通道遥感到的土壤表面温度随时间的变化率对土壤水分最敏感,且该变化率又与极轨卫星测到的植被指数存在负相关的事实,金一涛等(1998)利用气象卫星 GMS 和 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)资料,进行了土壤水分含量的推算,并提出反映土壤表面水分的干旱分级指数。

目前通过遥感进行土壤水分的监测,主要有热惯量和表观热惯量法、微波遥感、距平植被指数、热红外、植被指数关联等方法。

4.8.2 草原沙漠化地表土壤水分分析

总结前人研究,针对草原沙漠化严重的区域,通过土壤热惯量进行土壤水分监测效果较好,但鉴于像土壤温度日较差等数据难以获取等因素,本文主要是通过缨帽变换后选取反映土壤水分

的土壤湿度分量,进行非监督分类,然后进行类的合并,生成如图 4-22 土壤水分分布图,这里主要将桑根达来土壤含水量状况大致分为四个级别,分别为一级、二级、三级和四级(见图 4-23)。

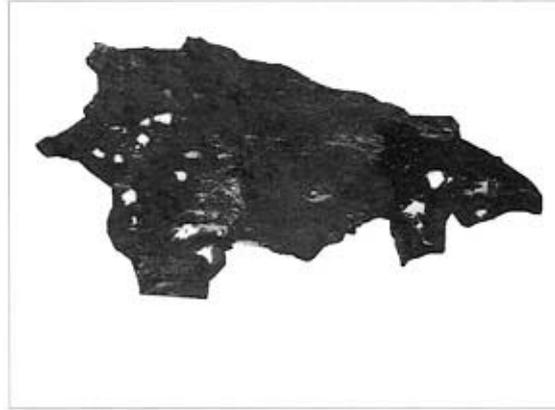


图 4-22 桑根达来土壤湿度图

Fig. 4-22 The soil moisture image of Sanggandalai

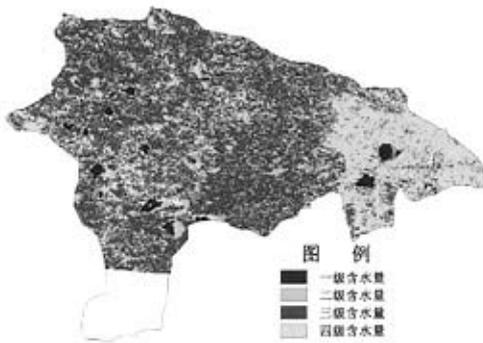


图 4-23 桑根达来土壤水分分布图

Fig. 4-23 The soil moisture distribution

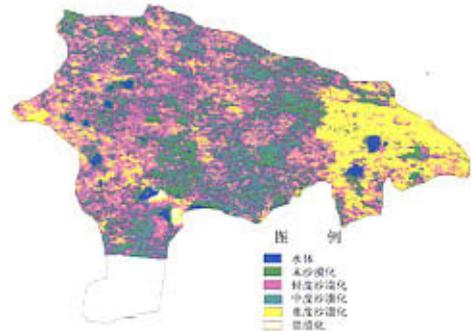


图 4-24 桑根达来草原沙漠化分布图

Fig. 4-24 The grassland desertification distribution

在对遥感图像经上述增强处理后,主要组合原始图像的 TM5、TM4、TM3 和 NDVI、主成分变换 PC#2 以及 TM3/TM4 等图像,进行分类,生成沙漠化分布图(见图 4-24),发现土壤表面水分含量分布区域与沙漠化分布区域相符,流动沙地区域的土壤含水量很低,多呈四级,二、三级土壤含水量主要分布在半固定和固定沙地区域。这一结果从侧面也反映了土壤湿度在植被条件较好的区域与植被指数呈一定的正相关性。

4.9 图像分类与草原沙漠化分级

遥感图像分类是按照图像中像元多波段灰度值的分布特征、样本的波谱特征和地物的几何形态等的像元进行归类，形成图像的专题属性，把地面的波谱响应描述（或映射）转变为专业属性的描述。

随着计算机软硬件的发展，目前采用计算机辅助目视解译，直接在计算机上勾绘。本研究主要是通过非监督分类和监督分类来进行图像分类，然后根据地面调查数据进行分类图像的类的合并。

通过以上对草原沙漠化信息增强处理，组合 TM3、TM4、TM5 和主成分变换后的前三个主成分、植被指数、比值图像和经缨帽变换后的土壤面、植被面、湿度面等反映草原沙漠化信息的遥感图像，进行分类。

4.9.1 草原沙漠化解译标志的建立

根据 TM 图像的形状、大小、位置、色调、颜色、纹理、阴影，对遥感图像进行初判，然后通过实地调查，核对、修正和补充解译结果，并参考植被盖度建立准确的、完整的解译标志（表 4-13）。

表 4-13 TM 图像解译标志

Tab. 4-13 TM image interpreter symbol

类型	图像特征 (TM5/TM4/TM3)	特征描述
未沙漠化		色调为相对均一的亮绿色，多为斑状、条状
轻度沙漠化		绿色或褐色，其间分布有少量沙斑
中度沙漠化		浅褐色，其间夹杂大量沙斑
重度沙漠化		呈白色或淡红色，色调不匀，间有稀疏植被
水体		均一的蓝色或深蓝色，形状较规则，边界清晰
道路		多呈黑色或白色，形状规则，成线状分布

4.9.2 非监督分类

所谓非监督分类是一种完全按着聚类分析算法进行的计算机图像分类，可以不输入实际类别的样本，只需给出分类类别数目，计算机自动进行分类。其算法主要是依据波谱统计特征为基础判别像元的类别归属，以同类别像元的波谱中心（灰度值分布空间的几何中心）代表类别，首先是分类者给定自然集群的数目，通常这个数目要比最终分类数大的多，然后利用“K 平均法”等算法进行类中心的移动和归并。“K 平均法”就是在分类者给定的分类数的基础上，计算机随机地确定集群中心，或采用已有的样本中心，然后将其他像元按照距离或相似系数最近的原则分到相应的集群中心，然后根据类别内方差大小不断移动集群中心，以迭代的方法不断优化像元的归属，直到各像元的类别归属比较稳定，或者达到指定的收敛阈值为止。

非监督分类确定了各个类别在光谱上的可分性，具有能够减少人为误差、较好地划分小类别、分类运算效率高等优点，对分类区域不太了解或不熟悉的人员也可粗略地对监测区域做出分类。不过，非监督分类总是基于单个像元的，未涉及地物的空间形态、纹理等像元的邻域特征，因而

在地面结构复杂的地物分类方面存在明显不足。草原总体来说地物比较单一，非监督分类就显其优越性。

基于非监督分类以上特性，为了减少分类误差，我们要尽量指定较多的类别数目，并确定较大的迭代次数和分类的收敛阈值（收敛阈值描述各类中心收敛的程度，要求的收敛程度越高（最高为 1），需要的迭代次数就越多，一般设定为 0.95 以上）。本研究设定类别数目为 100，迭代次数是 24，收敛阈值设定 0.98。

分类后，结合 TM 图像及地面调查建立的解译标志，并对照分类前的组合图像进行类的合并，然后进行分类后处理，主要包括聚类统计、去除分析等，以实现破碎图斑的处理，这里以 6 个像元为最小上图图斑面积（见图 4-25）。

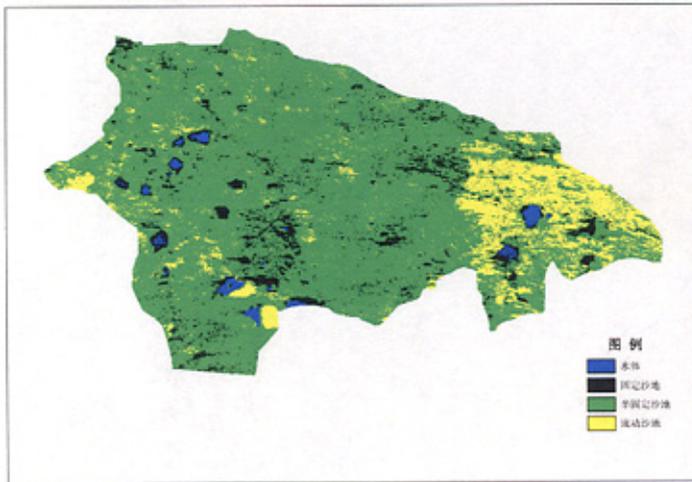


图 4-25 桑根达来沙漠化分布图（非监督分类）

Fig. 4-25 The desertification distribution image of Sanggandalai (unsupervised classification)

通过非监督分类，只能将水体、固定沙地、半固定沙地和流动沙地区分开，而盐渍化不能和裸沙区分开来。图 4-25 中，黄色表示流动沙地，面积为 21152.79ha；墨绿色表示固定沙地，8393.49ha；绿色为半固定沙地 123567.12ha，蓝色区域代表水体 2078.19ha（见表 4-14）。

4.9.3 监督分类

监督分类减少了非监督分类后归并类型的步骤，可以按照地物类别有目的地选择地面样本，而且可通过地面样本的检验避免严重的分类错误。其算法有多种，常用的有平行六面体算法、最小距离法、高斯最大似然法、贝叶斯分类法等，其中最大似然法是应用最普遍、效果较好的一种分类算法。这种算法基于判别的原理：当我们要计算未知像元 x 或像元的集合 $\sum x$ 归入哪一类，就把 x 或 $\sum x$ 代入各类别的概率密度函数（Probability density functions），然后计算其归属各类别

的概率，选择概率最高的类别作为判别结果。其关键是训练样本的选取和分类。

表 4-14 桑根达来研究区域沙地类型面积统计表

Form 4-14 The study regional sand area statistical table of Sanggendalai

沙地类型	非监督分类面积 (ha)	监督分类面积 (ha)	面积差异 (ha)
固定沙地	8393.49	6584.76	-1808.73
半固定沙地	123567.12	124006.05	438.93
流动沙地	21152.79	18764.46	-2388.33
盐碱地		2114.73	
水体	2078.19	3721.59	1643.4

从上表可以看出，半固定沙地在非监督分类和监督分类中，面积变化不大，非监督分类中，未能将盐碱地与裸沙分开，固定沙地非监督分类的面积要比监督分类多 1808.73ha，主要是由于非监督分类将本属于水体的部分，误分为植被条件较好的固定沙地。

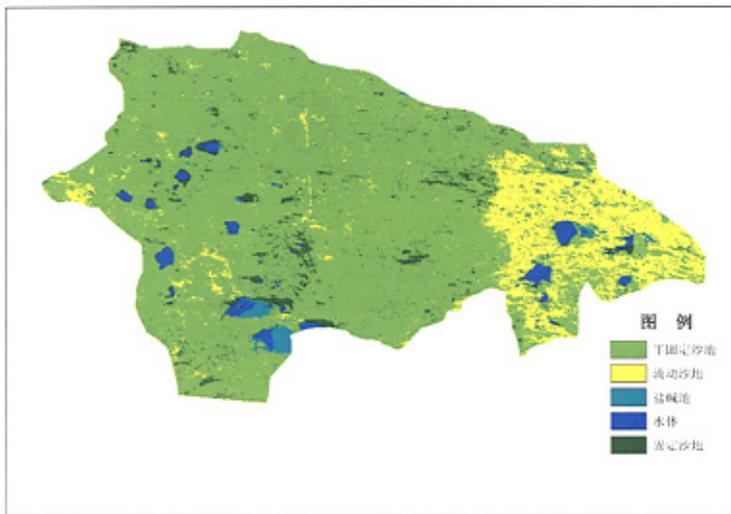


图 4-26 桑根达来沙漠化分布图（监督分类）

Fig. 4-26 The desertification distribution image of Sanggendalai (supervised classification)

上图是对桑根达来区域的遥感图像进行监督分类后生成的分类图和统计数据，能很好地区分盐碱地和裸沙。

虽然监督分类在对类别判定的准确性上比非监督分类有明显的优势，但是监督分类也有一些不足。其最大的缺点在于训练样本的选择存在人为因素，分类者不可能采集到各种地物、各种状态下的完整的样本集，也就是总有一些处于特定状态下的地物因没有样本而被划分为别的类型；同时地面采集的实际类别与遥感图像上可分的类别一般不能完全对应，出现某些样本类别无法区分的问题。因而，在选取训练样本时，不仅需要较大的数量和较为均匀的空间分布，还应结合遥感图像的波谱特征确定分类方案，划分样本的类别。

4.9.4 精度评价与验证

精度评价与验证目前越来越为遥感技术与应用领域人员所关注。遥感量化研究是近年来遥感技术的发展方向之一，对遥感分类数据的准确度要求越来越高，分类后的关键工作就是精度验证，精度高低是决定分类成功与否的关键。

我们首先通过分类叠加，目视分类效果，之后进行了精度评估，并生成评估报告，包括分类的生产者精度、用户精度以及总精度，验证方法同植被盖度分析中的精度验证。这里只给出精度评估结果：固定沙地分类精度达到 80.00%，半固定沙地精度达到 88.89%，流动沙地分类精度达到 91.67%，分类总精度达到 88.46%。

第五章 浑善达克沙地沙漠化动态分析

在草原沙漠化变化监测中,动态分析是最主要的环节。对不同时期的遥感图像进行动态分析,可以确定年际间变化情况。进行动态变化分析,常用方法有差值运算、变化检测及矩阵分析等,本研究以沙漠化等级图像进行浑善达克沙地沙漠化动态分析。

分别对 2000 年 7 月份和 2004 年 8 月的 124-30、125-30 两景 TM 图像进行亮度匹配和镶嵌,得到浑善达克沙地腹地的遥感图像(见图 5-1、图 5-2)。然后通过上述的图像增强方法,进行沙漠化遥感信息增强,并进行沙漠化等级划分(见图 5-3、图 5-4)。

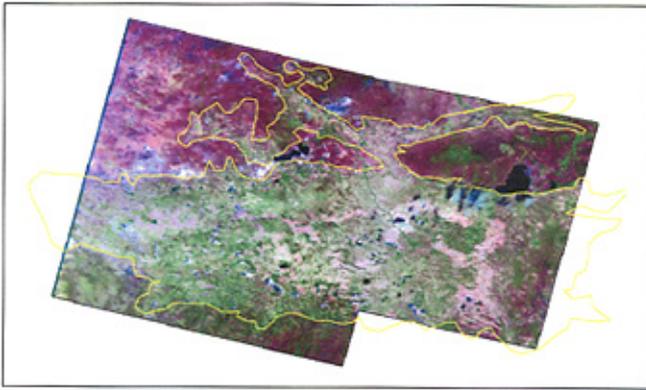


图 5-1 2000 年浑善达克沙地遥感图像图

Fig. 5-1 The remote sensing image of Hunshandake sand in 2000



图 5-2 2004 年浑善达克沙地遥感图像图

Fig. 5-2 The remote sensing image of Hunshandake sand in 2004

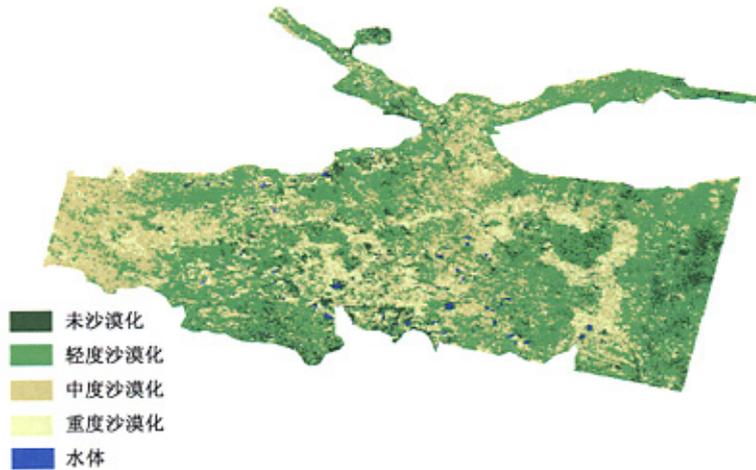


图 5-3 2000 年浑善达克沙地沙漠化等级分布图

Fig.5-3 The desertification distribution image of Hunshandake sand in 2000

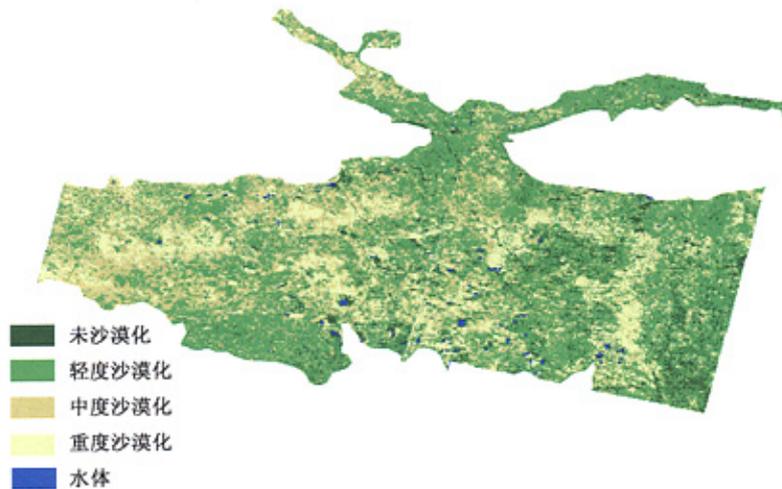


图 5-4 2004 年浑善达克沙地沙漠化等级分布图

Fig.5-4 The desertification distribution image of Hunshandake sand in 2004

5.1 不同时期分级图像对比分析

图 5-3 和图 5-4 是 2000 年、2004 年两个时期的沙漠化分级图像，2000 年，浑善达克沙地多风少雨，可以看出浑善达克沙地西部重度沙漠化区域扩展十分明显，东部重度沙漠化呈恢复趋势；中度沙漠化与重度沙漠化发展趋势相同，2000 年中度沙漠化主要分布在浑善达克沙地中、西部，2004 年以西部区域为主，中度沙漠化区域向轻度沙漠化区扩展，使轻度沙漠化和固定沙地区域被

沙漠化蚕食，将其边缘破碎化和退缩。而东部无论是重度沙漠化、中度沙漠化还是轻度沙漠化均明显的呈恢复趋势，其原因一是 2000 年较以后的几年浑善达克沙地降水量偏少；另一方面是 2001 年开始实施环北京地区防沙治沙工程开始实施，并对浑善达克沙地进行治理，其治理区多在中东部。

图 5-5 是草原沙漠化等级的变化图像，是由图 5-3 和图 5-4 中 2000 年和 2004 年分类图生成的。从该图可以看出，位于浑善达克沙地西部，沙漠化呈恶化趋势，而东部呈稳定或者恢复状态。



图 5-5 草原沙漠化等级变化

(黑色为未变化、浅灰色为沙漠化加重、中灰色为沙漠化减轻)

Fig. 5-5 The grassland desertification grade change image

5.2 沙漠化动态分析

表 5-1 和表 5-2 是浑善达克沙地 2000 年、2004 年的沙漠化等级、面积变化统计表。从两表中可以看出 5 年间浑善达克沙地的沙漠化发展趋势。

表 5-1 2000 年~2004 年间浑善达克沙地沙漠化变化统计表

Tab.5-1 The desertification change statistical table of Hunshandake sand from 2000 ~2004

沙漠化类型	2000 年		2004 年		变化	
	面积(ha)	占总面积比例	面积(ha)	占总面积比例	沙漠化 增减面积(ha)	增减 比例
未沙漠化	156248.6	5.86	190611.7	7.15	34363.08	1.29
轻度沙漠化	1505255	56.50	996565	37.41	-508690	-19.09
中度沙漠化	582198.6	21.85	815695.7	30.62	233497.1	8.76
重度沙漠化	420390.8	15.78	661220.2	24.82	240829.4	9.04
合计	2664093		2664093			

表 5-2 2000 年~2004 年间沙漠化类型间的变化情况
Tab.5-2 The desertification type change among 2000~2004

2000 年沙漠化类型	2004 年沙漠化类型	面积 (ha)	占变化前类型面积的比例 (%)
未沙漠化	未沙漠化	60843.24	38.94
	轻度沙漠化	69968.52	44.78
	中度沙漠化	21612.42	13.83
	重度沙漠化	3824.46	2.45
轻度沙漠化	未沙漠化	114174.45	7.59
	轻度沙漠化	727772.40	48.35
	中度沙漠化	477338.58	31.71
中度沙漠化	重度沙漠化	185969.07	12.35
	未沙漠化	12175.38	2.09
	轻度沙漠化	150981.66	25.93
重度沙漠化	中度沙漠化	222741.09	38.26
	重度沙漠化	196300.44	33.72
	未沙漠化	3418.65	0.81
	轻度沙漠化	47842.38	11.38
	中度沙漠化	94003.56	22.36
	重度沙漠化	275126.22	65.45

从表 5-1 中可以看出: 2000 年以轻度沙漠化为主, 其面积占总面积的 56.50%, 而 2004 年重度沙漠化和中度沙漠化比例增大。5 年期间, 未沙漠化面积增加了 34363.08hm², 与 2000 年相比增加了 1.29%, 其原因既有治理区对沙漠化程度的一定影响外, 还有由于在对沙漠化分级中, 固定沙地和轻度沙漠化区域较难划分、图像时相差异等影响因素造成的。

总体来说, 沙漠化程度明显加重。尽管东部区域沙漠化得到了一定的抑制, 但西部沙漠化程度加重趋势十分明显, 致使总体沙漠化呈增强趋势, 轻度、中度、重度三级沙漠化比例从 2000 年的 56.50%、21.85%和 15.78%, 发展到 37.41%、30.62%和 24.82%, 轻度沙漠化比例显著降低, 中度沙漠化和重度沙漠化比例呈挺进趋势, 与 2000 年相比重度沙漠化比例增加 9.04%, 面积扩展了 1/2 倍多。

从 2000 年到 2004 年沙漠化类型间相互变化数据(见表 5-2)分析来看, 未沙漠化面积有 38.94% 的保持稳定不变, 44.78% 发展为轻度沙漠化, 所占比例最大; 轻度沙漠化区域中, 48.35% 保持不变, 但有 31.71% 发展为中度沙漠化, 并且还有 12.35% 的面积急速发展为重度沙漠化, 致使成为浑善达克沙地沙漠化的重要恶化类型; 中度沙漠化区域中, 发展为重度沙漠化比例高达 38.26% 之多, 有 25.93% 恢复到轻度沙漠化; 在重度沙漠化区域中, 由于治理、降水增加等原因, 有 22.36% 恢复为中度沙漠化, 恢复到轻度沙漠化的面积占 2000 年重度沙漠化的 11.38%。

从整体趋势看, 保持级别不变的比例平均为 47.75%, 近一半; 沙漠化级别发展的达 23.14%, 而沙漠化级别植被恢复的占 11.69%, 说明浑善达克沙地在一定的治理情况下, 仍然能保持一定的

稳定性,但沙漠化程度发展,仍然强于沙漠化恢复的程度,治理的力度和放牧利用控制仍需加强。从沙漠化级别发展和恢复比例中看,主要以邻级别间相互转换为主,说明沙漠化发展和恢复同样是逐步发展的长期进程。

从以上分析来看,一方面,浑善达克沙地是一个在人为干扰下,整体仍呈沙漠化不断发展趋势,这与其地质环境正处在沙漠化活化期有一定的关系,还与其气候条件密不可分,更重要的是人文环境的影响。另一方面,浑善达克沙地仍有一定稳定性,经一些防风固沙等工程实施,在浑善达克沙地东部,其治理效果已经明显的体现出来,说明浑善达克沙地的植被在加大治理、合理利用的条件下仍然可以恢复。

5.3 沙漠化成因分析及防治措施

草原沙漠化是草原退化的一种特殊类型,是指干旱、半干旱及部分半湿润草原地区由于人地关系不协调所造成的以风沙活动为主要标志的土地退化。随着浑善达克沙地的活化,使草原沙漠化加剧。那么什么原因导致浑善达克沙地沙漠化呢?

导致浑善达克沙地沙漠化的原因多种多样,主要有自然环境因素、人为因素、生物干扰等因素使得草地生态系统脆弱化,这些因素具有交叉性、综合性等特点。

5.3.1 自然因素

5.3.1.1 自然变化与历史背景

有学者对浑善达克沙地的地层沉积特点及其沉积物粒度和磁化率进行了研究,发现浑善达克沙地从晚冰期以来经历了多次沙漠化正逆过程。晚冰期(约 15KaBP~10KaBP),浑善达克沙地全面扩张,达到了沙漠化最大规模;全新世早中期(约 10KaBP~3KaBP),浑善达克沙地成壤比较好,是一个大面积成壤期;全新世晚期(约 3KaBP 以后),浑善达克沙地沙漠化正过程又一次加强;目前浑善达克沙地为新的成壤期,成壤作用相对于适宜期较差,气候干暖(吴新宏,2003)。

5.3.1.2 物质基础

浑善达克沙地目前所处的生态系统自身孕育着沙漠化因素和沙漠化过程。突出的表现在组成生态系统的因子是弱的,并且本身便是沙漠化的因素。沙地内气候干冷多风,沙质土壤、表层土较薄,地表沙源丰富和植被稀疏低矮这三个生态要素比较脆弱,因此构成的生态系统本身就是脆弱和易变的。

5.3.1.3 气候因素

气候是生态系统首要和最活跃的因素,而它又最不稳定,经常出现短时间的周期性变化。当它改变时,必然引起植被及其他生态要素乃至整个生态系统的原有联系和平衡发生变化,导致地表主要外营力和方向随之改变,导致沙漠化正、逆过程在一定范围内不断交替出现。

近十几年的一些生态学研究显示,干旱和半干旱地区的草原生态系统由于受到气候波动的频繁干扰而显示出非平衡生态系统的特征。研究者认为,在受到频繁的环境胁迫干扰的生态系统中,气候变化对植物生长和草原生产力的影响比过牧的影响还要大。温度和降水决定着气候的干旱和湿润,对沙地沙漠化的动态变化有直接影响。

通过对浑善达克地区的多伦县、正蓝旗、太仆寺旗、正镶白旗、锡林浩特市、镶黄旗、苏尼特左旗、苏尼特右旗、阿巴嘎旗等9旗县从1991年~2002年降水变化情况进行分析(见图5-6~5-7)。从表5-3看出在1991年~2000年间,年均温度逐年上升。

表 5-3 浑善达克沙地每三年的平均温度特征

Fig. 5-7 The change of triennium average temperature of Hunshandake sand

年份	温度℃
1991-1993	2.36
1992-1994	2.91
1993-1995	3.17
1994-1996	3.34
1995-1997	3.43
1996-1998	3.90
1997-1999	4.31
1998-2000	3.94

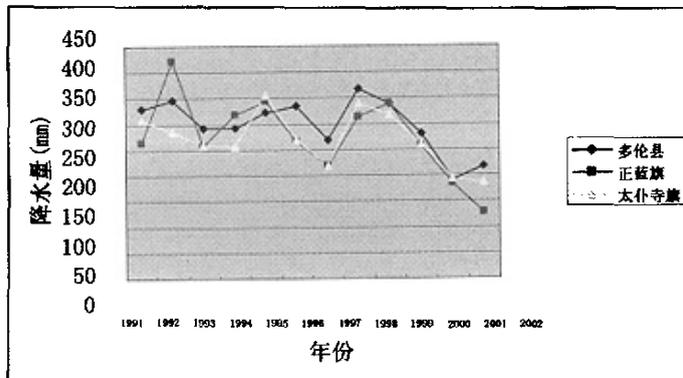


图 5-6 浑善达克沙地东南部地区降水变化情况

Fig. 5-6 The regional precipitation change in the southeast of Hunshandake sand

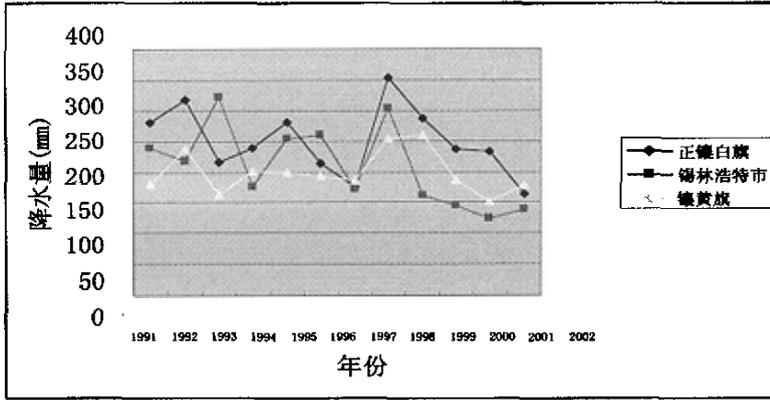


图 5-7 浑善达克沙地中部年均降水量变化图

Fig. 5-7 The annual average precipitation change in the middle part of Hunshandake sand

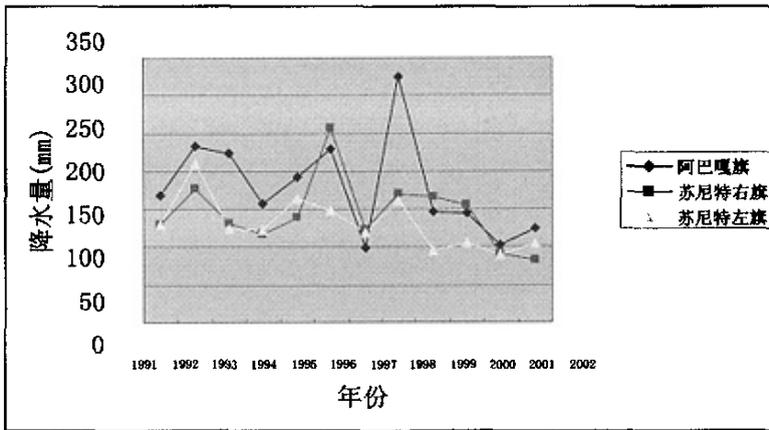


图 5-8 浑善达克沙地西北部年均降水量变化图

Fig. 5-8 The annual average precipitation change in the northwestern of Hunshandake sand

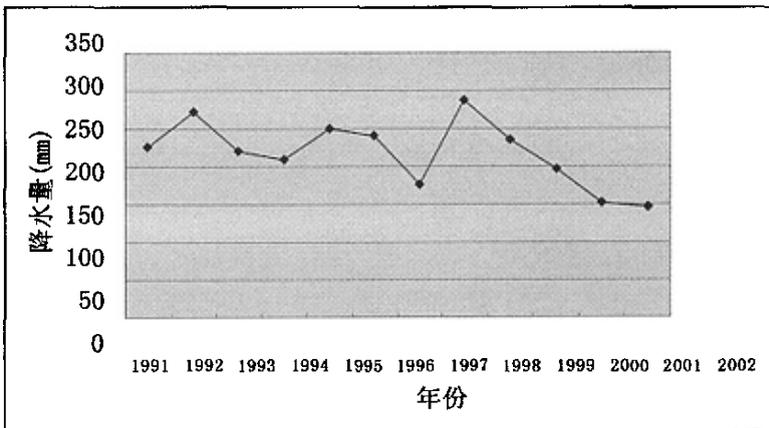


图 5-9 浑善达克沙地年平均降水量变化

Fig. 5-9 The annual average precipitation of Hunshandake sand

如上图，浑善达克沙地从 1991 年到 2002 年降水量进行分析，发现：浑善达克沙地 2000 年以前，平均降水量在 225mm 处波动，而在 2001 年和 2002 年降水量明显下降，但年际间降水变

化幅度较大。

从上图中，我们还可以看到，浑善达克沙地的降雨量分布从东南—中部—西北呈减少趋势。正蓝旗、多伦和太仆寺旗平均降水量达 300mm，中部的镶黄旗、锡林浩特市、正镶白旗平均降水量在 240mm 左右，而西北部的阿巴嘎旗、苏尼特左旗、苏尼特右旗等年平均降水量仅为 160mm。但浑善达克沙地年降水量总体趋于减少，但变化不大。尽管年均降水量变化不大，但降水多集中在夏冬季，而春秋降水少，此时期风沙较大，导致沙漠化加剧。

风也是导致沙漠化加剧的一重要因素。浑善达克沙地气候条件恶劣，为西伯利亚、蒙古高压反气旋的中心，全年多风，大范围的强风为风蚀提供了充分的动力条件；在风力作用下，裸露沙地出现风蚀生态景观，见图 5-10。



图 5-10 浑善达克沙地风蚀地貌景观图

Fig. 5-10 The wind erosion sight picture of Hunshandake sand

浑善达克沙地地区降水呈减少趋势，气候干旱加剧，并具有增温现象，这两方面均导致蒸发增加、地下水位下降。另外气候干旱的加剧，沙地缺水的生态系统对气温的升高波动反映更加敏感。再加上风大等因素，最终导致了浑善达克沙地草原沙漠化扩展，沙尘暴的频发；反过来，沙尘暴又加剧该区域的沙漠化进程。

5.3.2 人类活动

近几十年来，我国土地沙漠化面积，因滥采滥伐引起的占 28%，过度放牧占 20%，滥垦占 24%，垦殖后水系改变招致沙漠化的占 16%，工矿交通破坏植被导致沙漠化的占 9%，只有一小部分是沙丘前移侵占邻近土地造成的沙漠化。由此表明，人类不恰当的经济活动是我国土地沙漠化最根本的原因。人口增加导致人类活动加剧，更多地利用自然资源，从而对草原生态系统造成很大的影响。过度放牧、粗放经营、盲目垦荒、水资源的不合理利用、乱樵采、过度砍伐森林、不合理开矿等人类活动，使得生态系统的平衡失调和破坏，原有潜在的沙漠化因素和过程得以诱发和强化，加速了草原沙漠化的扩展速度。

5.3.2.1 人口增长

由于人口的迁入和当地人口的迅速增长，人类生活、生产需求也在快速增长。以农牧交错带

为主的草原开垦和撂荒，不仅造成了大面积草原的沙漠化，也形成了沙漠化和沙尘暴新的沙源。

另外，由于人口的增长，机动车数量也急剧增加。在草原上，地形起伏较小，草原上除了主干道外，小路、便道四通八达，且多两三道并行，很少有一条行车道，有的地方不止两三条。车辆的频繁碾压破坏了地表植被，造成沙质土壤活化，风蚀成深槽、深沟。当车道超过一定深度时，车辆通行不便，道路便废弃。由于近几年机动车辆的增多，行车道的废弃相当普遍，几乎五年左右就会有一条新的废弃道。废弃的车道本省即为流沙和风蚀口，进而会进一步扩大形成明沙带，掩埋草场，导致草原沙漠化进一步加剧。

5.3.2.2 过度放牧

超载过牧是草原沙漠化的主要驱动因素之一。草原地区经济来源比较单一，主要以畜产品为主，而畜产品也是草原地区的主要食物来源；随着人口的增多，草原地区的人们便大量饲养牲畜，导致草原的过度放牧。浑善达克沙地是一个以草原为中心的具典型沙地地貌类型的脆弱生态系统，沙区的畜牧业生产历史悠久，并在经济发展中占主要地位。

表 5-4 2003 年浑善达克沙地草原载畜量情况表

Tab.5-4 The information table of the grassland domestic animal amount of Hunshandake sand in 2003

旗县名	大畜 (万只)	小畜 (万只)	实际载畜量 (羊单位)	理论载畜量 (羊单位)	超载率 (%)
正蓝旗	17.12	46.38	131.98	71.9	84
多伦县	6.51	35.54	68.09	30.6	123
克什克腾旗	24.57	72.83	195.68	110.2	78
锡林浩特市	6.7	113.34	146.84	98	50
镶黄旗	4.07	42.41	62.76	24.7	154
正镶白旗	6.58	47.95	80.85	51	59
阿巴嘎旗	16.46	148.72	231.02	97.7	136
苏尼特左旗	12.86	112.1	176.4	67	163
苏尼特右旗	4.58	104.92	127.82	78.7	62

通过对浑善达克地区 9 个旗县草场载畜情况的统计分析(表 5-4)可知：9 个旗县的草场均不同程度的超载，牲畜头数大大超过了该地区的承载力。其中多伦县、镶黄旗、阿巴嘎旗和苏尼特左旗超载严重。过多的牲畜啃食、践踏，利用强度远远超过草原的负荷量，草本、灌木等植物生长、发育、更新受到抑制，自我调节机制失调，草原严重退化，致使土壤裸露，在风力的作用下，沙质土壤极易活化，进一步加速了沙漠化进程。

5.3.2.3 开垦

在浑善达克沙地，尤其是浑善达克沙地南缘农牧交错带，农牧民为了满足生活需要或者为了牲畜冬季饲料需要，大量开垦草原；而在开垦的土地上投入较少，大多是依赖降雨，这样，降雨量不足时，开垦的土地大面积撂荒，致使大面积草原景观破碎化，在风力作用下极易向荒漠化景观方向发展。

5.3.2.4 滥采乱挖

樵采、乱挖中药材、砍伐也是直接导致草原沙漠化的人类活动因素。浑善达克沙地腹地的桑根达来区域,原来存在大量的榆树林和黄柳等灌木,为了取暖和灶火,大量的榆树和黄柳、锦鸡儿等灌木被樵采,另外浑善达克沙地分布有大量的中药材,近几年被挖采,致使草原植被破坏,表层土壤更是被严重破坏,肥土流失、砾石裸露,致使草场严重退化、沙化。

5.3.3 自然灾害

5.3.3.1 沙尘暴

在高气压作用下,大量沙粒扬起,并远距离转移,使得大面积草原覆沙,致使草原沙漠化进一步加剧。特别是在干旱的气候条件下,沙尘暴发生的频率、强度都有所增加,加上干旱导致植被低矮、稀疏,加剧了草原沙漠化。

5.3.3.2 鼠虫危害

草原鼠虫危害也是导致我国草原退化、沙化的原因之一。由于鼠虫灾害对草原植被的破坏,破坏了土壤(如鼠丘等),降低了涵养水分的能力,加剧了草原退化、沙化。草原的鼠虫危害主要以高原鼠兔、高原鼯鼠、草原毛虫、草原蝗虫为主,危害面积达到了上亿亩。鼠兔以大量窃食牧草叶、茎、花和种籽,打洞、挖掘土丘覆盖牧草等方式危害草场及土壤;鼯鼠以啃食植物、植物根系部和植物块根为主,打洞形成大量土丘覆盖草场而破坏草地;草原毛虫和蝗虫对植物的危害也十分严重。

5.3.4 防治对策

5.3.4.1 实施退牧还草、退耕还草等生态建设工程

退牧还草、退耕还草等生态建设工程是防治沙漠化的关键措施之一。对于由于超载、垦荒弃耕等退化草原,通过禁牧、休牧、季节性轮牧等退牧还草等工程,改善生态条件,使得退化、沙漠化草原得以休养生息。与此同时,要坚决制止新的毁林、毁草、开荒,决不能用生存环境和长远利益为代价来换取眼前利益。

5.3.4.2 实行封沙育林育草工程

封沙育林育草是防治沙漠化恶化的有效措施之一。停止破坏现有天然植被,对浑善达克沙地实施天然保护,开展大规模的植树造林、种草活动,在保护天然林、草的同时开展大规模的恢复植被建设。对于流动沙地区域,防风固沙是根本。通过垂直风向栽植沙障,播种小叶锦鸡儿、黄柳等固沙植物,也可以采用人工铺设治沙网,从而达到固沙的目的,进而使得植被得以自然恢复。

在沙丘轻度活化地区，通过飞播和人工种植、封育相结合的措施，恢复固沙能力强的灌草复合植被；在草原退化地区，积极保护和改良草场，发展灌溉草库仑，增加草原植被，提高植被覆盖度。

5.3.4.3 以草定畜，保护草原生态建设

实行“以草定畜”的发展方针，控制牧区牲畜盲目增长，减轻由于严重超载放牧对草场的破坏。要把牧区畜牧业发展的重点，转移到提高畜产品质量和经济效益上来，这不仅是牧区经济长期的发展方向，而且对广阔的草原地区防沙治沙具有特殊重要的意义。在调整牧区牲畜总量的同时，搞好畜群结构，提高改良牲畜比例，淘汰低质及对环境破坏性大的牲畜，面向市场需求发展优质高效的畜牧业，减轻草场压力，让草原获得休养生息，以此促进生态建设。

从浑善达克沙地 2000 年~2004 年 5 年间草原沙漠化动态监测结果来看，浑善达克沙地部分区域植被得到恢复，沙漠化趋势得到抑制，其原因有气候的原因，更重要的是人为的原因，包括一些防沙治沙工程的实施、以草定畜等政策的执行，可见防沙治沙、退牧还草等生态治理与建设工程加上保护政策后的自然恢复是目前抑制沙漠化的较好对策。

第六章 结论

从草原沙漠化信息提取入手, 主要选择 TM 数据, 结合地面调查和采集到的地面光谱数据, 建立了草原沙漠化评价分级指标体系。通过沙漠化光谱特征分析、波段选择、主成分变换、比值增强处理、缨帽变换、植被指数增强等遥感图像增强技术, 以及建立植被盖度分析模型等手段, 探索到一些草原沙漠化信息的提取方法, 并且某些方法简洁易行。并对浑善达克沙地 2000 年~2004 年沙漠化动态变化进行分析。

6.1 光谱特征分析与波段的选择结论

通过地面地物光谱数据的采集, 生成浑善达克沙地主要地物光谱特征曲线, 发现沙地大约在 $0.6\mu\text{m}$ 附近有个反射峰, 总体表现高的反射率。在 $0.45\mu\text{m}$ ~ $0.69\mu\text{m}$ 和 $0.74\mu\text{m}$ ~ $0.90\mu\text{m}$ 波长范围内, 沙地和植被等地物信息反射差异显著。

建立了反射率计算模型, 生成了反射率图像, 并对各波段反射率图像组合, 再结合地面调查数据, 从反射率合成的图像上选取包括水体、草本、灌木、裸沙等典型地物, 绘制了浑善达克沙地各主要地物光谱曲线, 发现: 在第五波段和第七波段各地物反射率差异较大。

同时本文考虑到信息量等因素, 基于遥感图像各波段的标准差、最大值、最小值、均值、各波段间的相关系数、最佳指数, 最终选取第五波段、第四波段和第三波段, 即信息量最大, 又有助于提取沙漠化信息。

6.2 沙漠化遥感信息增强处理分析结论

经主成分变换后, 前 3 个主成分的累计贡献率占总方差的 99.96%, 代表了图像绝大部分的信息。发现: 第二主成分能很好的增强沙漠化信息。

在缨帽变换所得到的土壤面图像中, 沙地表现较大的灰度值, 能很好地将植被和沙地和水体等信息区分开来, 沙漠化信息得到明显增强; 在植被面图像中, 沙地表现较暗的色调, 能很好地区分植被和沙地等信息。并且裸沙具有较强的反射性, 表现较高的亮度值, 而沙漠化与土壤表层湿度有着直接的相关性, 缨帽变换所得到的湿度面可以从侧面反映沙漠化情况, 使得沙漠化信息得以增强。

植被指数从植被方面反映沙漠化信息, 植被信息得到增强, 植被和沙地反差得到拉伸, 实现沙漠化信息的提取。NDVI 图像中, 不同级别的沙漠化在灰阶上易于区分, 尤其是轻度沙漠化和重度沙漠化, 反差非常大。

本文在对各波段相关性分析及波段特征信息分析的基础上, 发现对 TM3 和 TM4 进行比值运算, 显著增强了沙漠化, 特别是半固定沙地的信息。再与原图像中的 TM4 和 TM5 合成, 形成含有比值运算信息的合成图像, 更加突出了半固定沙地信息 (中度沙漠化), 解决了草原沙漠化信息提取的一个难点。

6.3 植被盖度提取沙漠化信息结论

结合地面调查数据和对应点的 NDVI 值,建立了植被指数与植被盖度间的回归模型:

$C = 115.482 \times NDVI + 20.046$, 并进行统计分析,其相关系数为 0.803,经 F 检验其相关性达极显著水平,拟合度为 0.683。

并选取纯植被和裸沙进行定位,得到纯植被的植被指数是 0.684,裸沙的植被指数为-0.369。然后代入公式 $C = (NDVI - NDVI_s) / (NDVI_v - NDVI_s)$ 中,运算得到植被盖度分布图。

发现,通过大量的地面调查数据建立的盖度分析模型分类精度较高,总精度达到 85.42%。与经验公式计算的植被盖度相比,通过建立植被盖度估测模型进行生成植被盖度图像,然后进行分级效果较理想,而通过经验公式计算,效果较差,其分类精度仅有 75.00%。通过建立植被盖度估测模型的分级效果较理想。

研究发现,在选取特定波段的基础上,再结合沙漠化信息增强图像,进行分类分级,经精度验证分析,效果较好。同时,辅以植被盖度和水分等直接与沙漠化信息相关的因素分析,草原沙漠化信息提取快速简洁,易实现。

6.4 浑善达克沙地腹地变化动态分析结论

浑善达克沙地局部植被得到恢复,但浑善达克沙地整体仍趋于沙漠化扩展状态,尤其是浑善达克沙地西部地区。对浑善达克沙地 2000 年~2004 年沙漠化动态变化进行分析,发现:浑善达克沙地西部重度沙漠化区域扩展十分明显,东部重度沙漠化呈恢复趋势;与 2000 年相比,2004 年重度和中度沙漠化呈扩张趋势,年均增长百分比分别为 2.26%和 2.19%。

从沙漠化类型间的变化趋势看,保持级别不变的比例平均为 47.75%,近一半;沙漠化级别发展的达 23.14%,而沙漠化级别逆转,植被恢复的占 11.69%,浑善达克沙地草原沙漠化形势亦然严峻。

总体上,一方面,浑善达克沙地是一个在人为干扰下,整体仍呈沙漠化不断发展趋势,这与其地质环境正处在沙漠化活化期有一定的关系,还与其气候条件密不可分,更重要的是人文环境的影响。另一方面,浑善达克沙地仍有一定稳定性,经一些防风固沙等工程实施,在浑善达克沙地东部,其治理效果已经明显的体现出来,说明浑善达克沙地的植被在加大治理、合理利用的条件下仍然可以恢复。

参考文献

- [1] 陈怀亮,毛留喜,冯定原.遥感监测土壤水分的理论、方法及研究进展[J].遥感技术与应用.1999, 14(2): 55-65.
- [2] 陈有君,红梅,李绍良,乔春林.浑善达克沙地不同植被下的土壤水分状况[J].干旱区资源与环境.2004, 8(1): 68-73.
- [3] 戴昌达,雷莉萍, TM 图像的光谱信息特征与最佳波段组合[J].环境遥感.1989, 4(4): 282-292.
- [4] 董建林.浑善达克沙地(局部)沙化土地动态变化分析[J].林业资源管理.2000, 5: 25-29.
- [5] 董永平.北方草地TM遥感信息的数字分析[D].中国农业大学硕士学位论文,2001.
- [6] 高尚武,王葆芳,朱灵益,等.中国沙质荒漠化土地监测评价指标体系[J].林业科学.1998,34(2):1-10.
- [7] 黄敬峰,蒋亨显,王人潮.干旱区土地利用遥感监测研究[J].干旱区研究.1999,16(2):54-60.
- [8] 黄方,刘湘南.基于遥感和 GIS 的松嫩沙地土地利用/土地覆被时空格局研究[J].中国沙漠.2003,23(2):136-141.
- [9] 胡新博,王承军,顾祥,等.新疆荒漠、半荒漠草地的遥感应用研究[J].草食家畜.1996(3):33-37.
- [10] 姜小光,唐伶俐,戴昌达,李才兴,王荣,陈桂红.ETM+数据典型地物光谱采集方法介绍.遥感卫星地面站网站资料.2004.
- [11] 金一涛,刘长盛.利用气象卫星 GMS 和 AVHRR 资料推算地面水分含量的方法[J].应用气象学报.1998, 9(2): 197-204.
- [12] 陆灯盛等.TM 图像的信息量分析与特征信息提取的研究[J].环境遥感.1991, 6(4): 267-274.
- [13] 雷军,包玉海,银山,等.遥感与 GIS 多信息叠加分析法的理论与应用[J].内蒙古师范大学学报,2001, 30(4): 361-364.
- [14] 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[J].遥感学报,2002,6(2):117-122.
- [15] 李德熊.TM 合成图象波段组合的选择[J].遥感信息.1989, (4):19-22.
- [16] 刘建平,赵英时.高光谱遥感数据解译的最佳波段选择方法研究[J].中国科学院研究生院学报.1999, 16(2): 153-161.
- [17] 李海萍,庄大方,熊利亚.沙化土地野外光谱数据采集的技术方法探讨[J].武汉大学学报.2003, 28(4): 484-491.
- [18] 李明诗,彭世揆,李海涛,等.从遥感 TM 影像分类图提取小斑界限的算法实现[J].南京林业大学学报,2001,25(5):25-28.
- [19] 李青丰,胡春元,王明玖.浑善达克地区生态环境劣化原因分析及治理对策[J].干旱区资源与环境.2001, 15(3): 9-16.
- [20] 李远森.张掖市沙化土地动态监测[J].甘肃林业科技.2003, 28(1):49-54.
- [21] 林业部,农业部,水利部等.环北京地区防沙治沙工程规划.2001.
- [22] 马超飞,刘素红,蔺启中.专题信息提取中降低植被影响的处理方法研究[J].遥感技术与应用.1998,13(4):9-13.

- [23] 梅安新, 彭望录, 秦其明等. 遥感导论[M]. 高等教育出版社. 2001.
- [24] 内蒙古自治区统计局. 内蒙古统计年鉴[R]. 北京: 中国统计出版社. 2000, 203~207.
- [25] 普布次仁. 归一化植被指数与降水量、土壤湿度的关系[J]. 气象. 21(12): 8~12.
- [26] 石玉芳, 徐东瑞. 河北坝上高原风蚀沙化遥感监测及防治对策[J]. 河北师范大学学报. 1996, 20(4): 96~101.
- [27] 田静, 阎雨, 陈圣波. 植被覆盖率的遥感研究进展. 国土资源遥感[J]. 2004, 1: 1~5.
- [28] 涂军. 应用遥感技术调查草地荒漠化的研究[J]. 遥感技术动态. 1990, (4): 46~52.
- [29] 王葆芳. 国内外沙漠化监测评价指标体系概述[J]. 林业科技通讯. 1997, (7): 4~8.
- [30] 王君厚, 孙司衡. 荒漠化类型划分及其数量化评价体系[J]. 干旱环境监测. 1996, (3): 129~137.
- [31] 乌兰图雅, 阿拉腾图雅, 长安, 玉山. 遥感、GIS支持下的浑善达克沙漠化土地最新特征分析[J]. 内蒙古师大学报. 2001, 30(4): 356~360.
- [32] 王涛, 朱震达. 我国沙漠化研究的若干问题-1. 沙漠化的概念及其内涵[J]. 中国沙漠. 2002, 23(3): 209~214.
- [33] 吴新宏. 浑善达克沙地植被快速恢复[C]. 内蒙古大学出版社. 2003.
- [34] www.legaldaily.com.cn. 沙化定义[OL]. 2001.
- [35] 中华人民共和国国家标准. 天然草地退化、沙化、盐渍化的分级指标. 中国标准出版社. 2004.
- [36] 张晋开, 崔承禹, 支毅乔. 基于主成分分析的植被掩膜与模式滤波方法在中等植被区蚀变信息提取中的应用[J]. 中国图象图形学报. 1996, 1(2): 108~114.
- [37] 张仁华. 实验遥感模型及地面基础[M]. 北京: 科学出版社. 1996.
- [38] 邝生爱, 田淑芳, 程博. 农牧交错带土地沙化遥感监测[J]. 国土资源遥感. 2002, (2): 10~14.
- [39] 张熙川, 赵英时. 应用线性光谱混合模型快速评价土地退化的方法研究[J]. 中国科学院研究生院学报. 1999, 16(2): 169~176.
- [40] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社. 2003.
- [41] 张玉贵. TM影像的计算机屏幕解译和荒漠化监测[J]. 林业科学研究. 1998, 11(6): 599~606.
- [42] 张远东, 徐应涛, 顾峰雪, 潘晓玲. 荒漠绿洲 NDVI 与气候、水文因子的相关分析. 植物生态学报. 2003, 27(6): 816~821.
- [43] 邹亚荣, 张增祥, 等. GIS支持下内蒙古草场动态变化及其环境背景分析[J]. 遥感技术与应用. 2002, 17(10): 250~254.
- [44] 朱述龙, 张占睦. 遥感图像获取与分析[M]. 科学出版社. 2000.
- [45] 朱震达, 陈广庭, 等. 中国土地沙质荒漠化[M]. 科学出版社. 1994, 35~36.
- [46] 章祖同, 刘启. 中国重点牧区草地资源及其开发利用[C]. 北京: 中国科学技术出版社. 1992.
- [47] A. Diouf, E.F.Lambin. Monitoring land-cover changes in semi-arid regions: remote sensing data and field observations in the Ferlo, Senegal[J]. Journal of Arid Environments(2001)48:129~148.
- [48] Alfredo D. Collado, Emilio Chuvicow, Ana Camarasaw. Satellite remote sensing analysis to monitor desertification processes in the crop-rangeland boundary of Argentina[J]. Journal of Arid Environments, 2002, 52: 121~133.
- [49] Adams J.B., Smith M.O. & Johnson P.E.. Spectral mixture modelling: a new analysis of rock and soil types at the Viking Lander I site[J]. Journal of Geophysical Research, 1986, 91: 8098~8112.
- [50] Bannari A., Morin D., Bonn F. & Huete A.R.. A review of vegetation indices[J]. Remote Sensing

- Reviews, 1995, 13: 95~120.
- [51] Cross A.M., Settle J.J., Drake N.A. & Paivinen R. T. M.. Subpixel measurement of tropical forest cover using AVHRR data[J]. *International Journal Remote Sensing*, 1991, 12: 1119~1129.
- [52] Chen Z., Elvidge C.D. & Groenvelde D.P.. Monitoring of seasonal dynamics of arid land vegetation using AVIRIS data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1998, 65: 255~266.
- [53] E.M.Jurio, Zuidam R.A., van R.A., van Zuidam. Remote sensing, synergism and geographical information system for desertification analysis: an example from northwest Patagonia, Argentina[J]. *ITC Journal*, 1998, No. 3-4, 209~217.
- [54] Ernst M.S., Andy N.R.. Reducing the Effects of Vegetation Cover on Airborne Padiometric Data Using Landsat TM Data[J]. *INT.J. Remote Sensing*, 1997, 18 (7): 1503~1515.
- [55] FAO/UNEP.. Provisional methodology for assessment and mapping of desertification [S]. FAO, Rome, 1984.
- [56] F.BASSO, E.Bove, S.Dumontet, A.Ferrara, M.Pisante, G.Quaranta, M.Taberner. Evaluating environmental sensitivity at the basin scale through the use of geographic information systems and remotely sensed data: an example covering the Agri basin (Southein Italy)[J]. *Catena* 40(2000)19~35.
- [57] F.C.Tanser, A.R.Palmer. The application of a remotely-sensed diversity index to monitor degradation patterns in a semi-arid, heterogeneous, South African landscape[J]. *Journal of Arid Environments*, 1999, 43: 4, 477~484.
- [58] F.Jaskolla, A.Hirscheider. Applying remote sensing data in desertification monitoring[J]. *Desertification Control Bulletin*, 1990, (18): 6~12.
- [59] G.Dall-Olmo, A.Karnieli. Monitoring phenological cycles of desert ecosystems using NDVI and LST data derived from NOAA-AVHRR imagery[J]. *Remote sensing studies of the Middle East drylands [C]*. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23: 19, 4055~4071.
- [60] M.Akram, M.Abdullah. Wind erosion and sand dune stabilization in the Cholistan desert. Soil physics application under stress environments[R]. *Proceedings of the International Symposium on Applied Soil Physics in Stress Environments*, 22-26 January 1989, Islamabad, Pakistan. 1990, 323~334.
- [61] M.C. Hansen, R.S. DeFries, J.R.G. Townshend. Towards an operational MODIS continuous field of percent tree cover algorithm: examples using AVHRR and MODIS data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 83: 303~319.
- [62] Marsh S.E., Switzer P., Kowalick W.S. & Lyon R.J.P.. Resolving the percentage of component terrains within single resolution elements[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1980, 46: 1079~1086.
- [63] M.Tsuiki, M.Shiyomi, S.Takahashi. Application of neural networks to grassland management [D]. *Recent advances in grassland production and management*, 1992, 182~193.
- [64] Pickup G. & Chewings V.H. . A grazing gradient approach to land degradation assessment in arid areas from remotely-sensed data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 15: 597~617.
- [65] Ranga B Myneni, Ghasem Asrar. Remote Sensing of Solar Radiation Absorbed and Reflected by Vegetated Land surfaces[J]. *IEEE Trans. Gessci. Remote Sensing*, 1991, 30(2): 302~314.
- [66] R.D.Bardgett. The use of the membrane filter technique for comparative measurements of hyphal lengths in different grassland sites[A]. *Symposium on Modern Techniques in Soil Ecology [C]*, Athens,

GA (USA), 1991.

[67] Settle J.J. & Drake N.A.. Linear mixing and the estimation of ground cover proportions[J].

International Journal of Remote Sensing, 1993,14: 1159~1177.

[68] Shimabukuro Y.E. & Smith J.A. .The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1991,29: 16~20.

[69] Thomas M. Lillesand, Ralph W. Kiefer. Remote Sensing and Image Interpretation[M]. 电子工业出版社.2003.

[70] Tucker C.J.. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation[J].

Remote Sensing of Environment, 1979,8: 127~150.

[71] Tucker C.J., Newcomb W.W. & Dregne H.E. . AVHRR data sets for determination of desert spatial extent[J]. International Journal of Remote Sensing, 1994 ,15: 3547~3565.

[72] United nations convention to combat desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification,particularly in Africa[S]. 1994.

[73] Wang jian, Li wenjun..Primary study on the multi-layer remote sensing information extraction of desertification land types by using decision tree technology[A].International Geoscience and Remote Sensing Symposium[C]. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc,2002,2513~2515.

[74] World Bank.Monitoring Environment Progress [R]. 1818 H Street, N.W.Washington.D.C.,1995.

附 录

附录一：2000 年浑善达克沙地沙漠化等级分布图

附录二：2004 年浑善达克沙地沙漠化等级分布图

致 谢

在尊敬的导师吴新宏研究员悉心指导下，我顺利地完成了硕士毕业论文。

回顾三年的硕士生活，首先感谢我的导师吴新宏先生。从论文设计到撰写，都凝聚着导师的心血与汗水。导师以渊博的知识，敏捷的思维和严谨的治学态度时时启迪着我。从师的几年里，导师的勤恳、认真、求实的治学态度和热情、积极的生活态度深深地影响着我。导师不仅指导我专业的学习，还时时关心我的生活与健康。对我来说，导师既是严师又是慈父，还是朋友。

感谢草原研究所董永平先生指导我遥感等知识的学习，对我的论文工作提供了大力支持和无私的帮助。

其次，本研究得到农业部全国畜牧兽医总站草业饲料处大力支持，草业饲料处提供了研究的软硬件的支持，负旭疆、余鸣两位处长在论文研究中提出了很好的建议，同时在草业饲料处也得到单丽燕等同事的人力帮助。在艰苦繁重的野外调查工作中，镶黄旗草原监理局和镶黄旗草原站给予大力支持和帮助，使得地面调查顺利完成。浙江大学黄敬峰教授及其学生协助采集地面光谱数据。内蒙古大学生建博教授对我的论文设计以及论文的撰写提出了很好的建议，很认真地修改了我的开题报告和论文初稿。感谢课题组拾涛、刘一凌老师和师妹王秋菊等人的大力帮助，感谢赵来喜研究员在论文出版印刷中给予大力支持。得到研究课题组全体成员的帮助。在这里一致向大家表示衷心感谢。

还要感谢草原所各级领导，尤其是感谢草原所科技处的领导和老师们，在对我的培养过程中，做了大量的工作。

最后衷心地谢谢我的亲人和朋友，感谢他们给予我的鼓励与支持。

本篇论文是我学习阶段的一个暂时的总结，也是诸多学者、朋友的辛勤结晶，我将以此为新的起点，在今后的学习和工作中加倍努力，做出更大的成绩以不辜负大家之厚望。

再次感谢我的导师吴新宏先生及其亲人和所有关心我的老师、朋友。

2005年6月于青城

作者简历

刘同海,男,1977年12月出生于山东省鄄城县,硕士。2001年7月毕业于山东农业大学农学院;2002年9月—2005年7月在中国农业科学院攻读硕士学位。2004年5月—2005年5月,协助农业部全国畜牧兽医总站进行草原生态保护与建设工程监测等工作。目前参加国家级项目3项,发表论文4篇,参加编著《草原遥感监测技术》一书,编写研究(工作)报告多篇。

硕士期间发表的论文及著作:

已发表论文:

1. 刘同海,吴新宏,董永平,孟玉环.沙漠化遥感信息研究综述.遥感技术与应用.2004,19(6): 526~532.
2. 吴新宏,董永平,刘同海,巴特尔.草原生态保护与建设的综合分区域规划研究——以内蒙古自治区镶黄旗为例.中国草地.2004,26(5): 49~53.
3. 吴新宏,董永平,李新一,刘同海.内蒙古镶黄旗草原资源现状与动态的遥感监测.干旱区资源与环境.2004,18(5): 103~107.
4. 宋雪峰,董永平,单丽燕,刘同海.用数码相机测定草地盖度的研究.内蒙古草业.2004,16(4): 1~6.

著作:

参编《草原遥感监测技术》.化学工业出版社.2005.3.