

文章编号:1001-9014(2007)06-0456-05

## 基于 MODIS NDVI 的新疆潜在荒漠化区域探测

王莉雯<sup>1</sup>, 牛铮<sup>1</sup>, 卫亚星<sup>2</sup>

(1. 中国科学院遥感应用研究所 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101;

2. 辽宁师范大学 城市与环境学院, 辽宁 大连 116029)

**摘要:**用遥感技术监测荒漠化进程是中国及世界其它干旱和半干旱地区的一项重要任务. 采用2002年MODIS 1km的全年NDVI时序数据对新疆及周边地区进行了土地覆盖分类. 在此过程中重点强调了稀疏植被覆盖区域, 这些区域具有潜在荒漠化的趋势. 介绍了一种针对不同土地覆盖类型并能重点突出稀疏植被的分类方法, 这种方法较好地综合了季节性影响因素和多变的自然条件影响因素. 研究结果表明新疆及周边地区24万km<sup>2</sup>的土地有潜在荒漠化的趋势.

**关键词:**荒漠化; 归一化植被指数; 土地覆盖; 新疆  
**中图分类号:** TP79 **文献标识码:** A

## DETECTING THE AREAS AT RISK OF DESERTIFICATION IN XINJIANG BASED ON MODIS NDVI IMAGERY

WANG Li-Wen<sup>1</sup>, NIU Zheng<sup>1</sup>, WEI Ya-Xing<sup>2</sup>

(1. The State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications,

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

**Abstract:** Detecting desertification by using remote sensing is an important task for China and other semi-arid and arid areas in the world. In this study, MODIS 1km NDVI time series data of 2002 were used to classify land cover type in Xinjiang province and surrounding regions. During the classification, sparse areas, which are the areas at risk of desertification, are emphasized. A classification method, which is adapted to various land cover type and makes sparse vegetation emphasis, is introduced. This method better synthesizes seasonal influence factors and variable factors of natural conditions. Research results indicate that 0.24 million km<sup>2</sup> in Xinjiang and surrounding regions are potential desertification regions.

**Key words:** desertification; MODIS NDVI; land cover; Xinjiang

### 引言

按照《国际防治荒漠化公约》(UNCCD)的定义,荒漠化是指在干旱、半干旱和干燥亚湿润地区的土地退化,它是由气候变化、人类活动等因素导致的. 这种土地退化被定义为耕地、草地、林地的生物或经济生产力、和复杂程度的减少或流失. 土地荒漠化已成为土地快速变化的“热点”之一<sup>[1,2]</sup>. 在新疆及周边地区出现了大片荒漠化区域和有荒漠化趋势的区域,已成为该地区面临的一个较为严重的问题<sup>[3]</sup>.

为了防治荒漠化,就需要了解导致荒漠化的进

程,持续不断的监测是必不可少的. 因为研究区域面积太大,需要采用遥感技术来支撑防治荒漠化研究项目. 在亚洲已使用遥感技术来监测荒漠化,绘制土地覆盖/土地利用图,确定荒漠化指标<sup>[4-6]</sup>.

目前存在各种不同的评估荒漠化程度的标准,植被覆盖是一种较流行的标准. 尤其在采用遥感技术来评估荒漠化程度时,植被覆盖是较常采用的标准,植被状态可以较为敏感地反映出由荒漠化造成的环境改变,增加植被覆盖面积也是防治荒漠化最为有效的措施. 大量研究表明稀疏植被地区很可能是潜在荒漠化区域.

现在使用高分辨率遥感图像来监测大面积区域

收稿日期:2006-10-13,修回日期:2007-05-09

Received date: 2006-10-13, revised date: 2007-05-09

基金项目:国家重点基础研究发展规划(2007CB714406)、中国科学院知识创新工程重要方向(KZCX2-YW-313)和遥感科学国家重点实验室科研基金(KQ060006)资助项目

作者简介:王莉雯(1971-),女,山东蓬莱人,博士生,工程师,主要从事遥感应应用研究.

是不可行的,因为需要花费大量的人力和财力,并且也无法总能得到适合的数据.为了进行大面积的荒漠化分析,需要采用不同分辨率的遥感图像,粗分辨率的土地覆盖图可以被用于监测大尺度的生态过程,发现变化的“热点”区域,例如发生荒漠化的区域,然后对这些热点区域用高分辨率的卫星数据来仔细分析.

## 1 数据源与数据处理方法

### 1.1 研究地点

本文研究区域为东经  $73^{\circ}6'24'' \sim 96^{\circ}2'12''$ , 北纬  $34^{\circ}0'60'' \sim 49^{\circ}0'48''$  ( $2294 \times 1484\text{km}$ ,  $3404296\text{km}^2$ , 包含整个新疆地区). 该地区的土地覆盖类型较为复杂,包括:阔叶林、针叶林、耕地、灌丛、草地、沙漠. 土地覆盖类型的变化在很大程度上受季风气候和海拔的影响,海拔高度从  $-156 \sim 8058\text{m}$  (SRTM DEM 的值). 年降水量主要集中在夏季,夏季是植物关键性的生长季,在此期间植物生长达到它的最高峰. 研究区域的气候类型是干旱和半干旱温带.

### 1.2 图像处理 and 分类

研究采用的遥感数据来源于美国 LPDAAC (Land Process Distributed Active Archive Center, U. S. A) 的亚洲地区  $1\text{km}$  分辨率 MODIS 植被指数产品中的归一化植被指数 (NDVI). 该植被产品包含 2002 年全年 16 天合成的共 23 个时相数据产品. 23 幅图像都做了几何纠正处理,采用了经纬度投影、WGS84 参考椭球体,像元大小是  $0.01^{\circ}$ . 2002 年全年的 NDVI 最大值图像通过计算 23 幅按 16 天合成的 NDVI 图像获得.

在进行土地覆盖分类时,可以区分出树木冠层密度(非郁闭/郁闭)、季节性树木类型(常绿/落叶)和叶面类型(针叶/阔叶). 另外,需要考虑区分出水体、城市建筑用地、永久性冰雪. 需要注意的是,应考虑草地与耕地混合类型,因为这一类型代表一种重要的过渡生态带,极易受荒漠化的影响. 最重要的是,需要区分出稀疏植被区域,这些区域最为脆弱,存在荒漠化的危险. 根据国内外各种土地覆盖分类标准,本文将稀疏草地和稀疏灌丛,即植被覆盖度在  $10\% \sim 40\%$  之间,划分为稀疏植被区域;将植被覆盖度少于  $10\%$  的区域划分为无植被区域.

新疆土地覆盖分类主要步骤如下(图 1 所示):

(1) 从 16 天合成的 MODIS NDVI 图像上,可以目视解译出水体和永久性冰雪,在此过程中,选用

SRTM 数字高程模型 (DEM) 作为参考. 城市建筑用地是从 NDVI 合成图像(红:6 月份的 NDVI 图像,绿:7 月份的 NDVI 图像,蓝:8 月份的 NDVI 图像)上目视解译出来的,同时参考了 DCW (Digital Chart of the World) 网站上下下载的该地区城市 GIS 图层.

(2) 植被和非植被区域可以用阈值分开:如果全年的 NDVI 最大值  $< 0.116$ , 那么这个像元所代表的土地覆盖类型为非植被;如果全年的 NDVI 最大值  $> 0.260$ , 那么这个像元所代表的土地覆盖类型为植被;如果全年的 NDVI 最大值在  $0.116$  和  $0.260$  之间,那么这个像元所代表的土地覆盖类型是植被还是非植被,暂时还不能确定. 这是因为土壤会影响稀疏植被的 NDVI 值. 所以采取下述的准则来区分待确定区域:如果一个像元同时满足下面两个条件,那么该像元所代表的土地覆盖类型即为植被. 条件 1: NDVI 的最大值出现在 6 月 ~ 9 月之间(全年降水量主要集中在几个月期间); 条件 2: 4 月 ~ 10 月 NDVI 的标准偏差大于阈值  $0.190$ . 上述阈值的确定是通过结合高分辨率的 ASTER 图像和野外观测数据,反复对比全年 NDVI 最大值图像而获得的. 野外调查的路线是沿着不同土地覆盖类型的边界进行的.

(3) 将已划分出的非植被区域进一步划分为戈壁和沙漠区域,需要选择一幅无云的 MODIS NDVI 图像.

(4) 将已划分出的植被区域用 NDVI 的季节变动和辅助数据进一步分类. 为了划分出林地、灌丛、耕地和草地,采用 ISODATA 非监督分类法进行分类,选用了 3 幅 NDVI 图像,图像分别来自 8 月份(植被生长的最高峰)、5 月份(植被开始返青时间)、3 月份(植被非生长季). 将上面划分出的林地、灌丛、耕地和草地,参考中国林带地图,进一步划分出落叶林和针叶林区域. 参考农牧过渡带地图识别草地和耕地的混合类型,同时参考 SRTM DEM 数据识别位于低地区的耕地(一季作物).

## 2 结果与讨论

### 2.1 植被指数

从全年的 NDVI 最大值合成图像上可以区分出植被和无植被区域. 研究区的大部分是沙漠. 大面积的很低的 NDVI 值清晰地展现出了位于新疆南部的塔克拉玛干沙漠和北部的古尔班通古特沙漠. 高的 NDVI 值出现在新疆中部的天山山脉的雪线以下的广大区域. 昌吉回族自治州耕地的全年 NDVI 最大

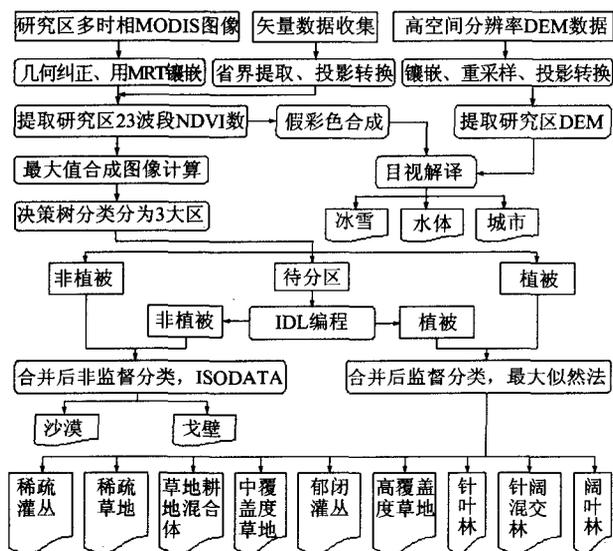


图1 研究区土地覆盖分类流程图  
Fig. 1 Flowchart of land cover classification

值明显高于周围的稀疏植被或沙漠,所以可以容易地区分出来.通过比较全年NDVI最大值合成图像和ASTER图像,发现全年NDVI最大值合成图像可以被用来区分郁闭灌丛和稀疏灌丛、高覆盖度草地和稀疏草地、针叶林和阔叶林.

16天合成的NDVI时序数据展现出了不同植被类型随季节明显变化的模式(图2),无植被区域(沙漠和戈壁)的NDVI值全年都很低,并且数值很稳定.植被区的NDVI值5月份开始增加,10月份开始下降,7月份和8月份达到峰值,这与新疆植被的生长规律相一致.另外,NDVI时序图像揭示了林地夏季(生长期的最高峰)和冬季(非生长期)的NDVI值是不同的:常绿林的NDVI值在冬季高于落叶林,而在夏季(6月~9月)低于落叶林.落叶林夏季有较高的NDVI值,这表明此时叶绿素含量较高.所以,全年NDVI图像的振幅(全年NDVI最大值和最小值的差值)和NDVI值的变化系数可以被用于区分常绿林和落叶林.图2表明耕地、落叶林和草地的生长期长度是不同的:落叶林的生长期长于草地,草地的生长期长于耕地.这个特点很好地反映出自然界的植被生长规律<sup>[7]</sup>,可以用这个特性来区分不同的土地覆盖类型.稀疏植被的NDVI值随着光合作用的季节变化而变动,即6月份NDVI值开始增加,8月份NDVI值达到峰值,9月份NDVI值开始减少,无植被区域则没有表现出这种随时间变化的规律.利用这种规律能够区分出植被和无植被区域,可以通过计算标准偏差值并进行比较来实现.

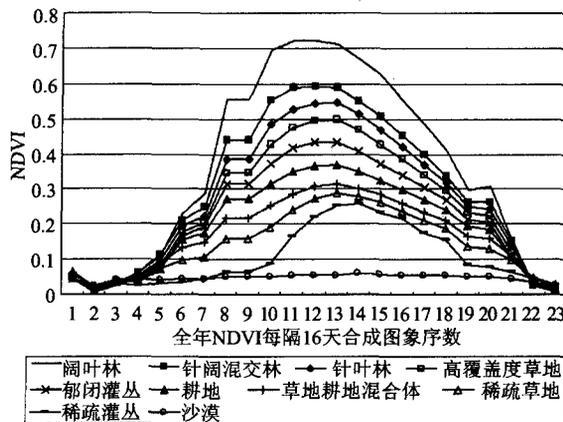


图2 选择的训练样地的NDVI时序图  
Fig. 2 Time-series NDVI of selected training sites

### 2.2 土地覆盖分类

本文的土地覆盖分类结果如图3所示.本研究专门将稀疏灌丛和稀疏草地从郁闭灌丛和高覆盖度草地中区分出来,以满足荒漠化监测的需要.从图3中可以看出,沙漠位于新疆南部,戈壁位于新疆中部,稀疏草地和稀疏灌丛主要分布在沙漠或戈壁周围,高覆盖度草地、郁闭灌丛和草地耕地混合体的空间分布位置紧挨着稀疏草地和稀疏灌丛,林地主要位于天山山脉雪线以下,耕地主要分布于平原地区.植被覆盖度从南向北、从东向西逐渐增大,也就是从沙漠到稀疏植被再到高覆盖度植被的空间分布模式,表明稀疏草地和稀疏灌丛是防止沙漠入侵的缓冲带.图3也反映出农作物主要种植在山谷、河流盆地或有良好灌溉条件的绿洲内,这些绿洲被稀疏植被和沙漠所包围.新疆北部出现了稀疏草地和稀疏植被占相当比例的沙漠,这表明了由于荒漠化进程,以前的稀疏植被区域可能已经转变成了沙漠.

本文土地覆盖分类的数量化结果如表1所列.沙漠和戈壁的面积大约为206万km<sup>2</sup>,约占整个研究区域的60.6%.整个研究区域的林地覆盖率只有9.39%,农业用地占4.16%,草地和耕地混合体的覆盖率大约是4.44%.水体和永久性冰雪是该地区的重要水源,覆盖率分别是1.46%和5.54%.整个研究区域的14.34%被灌丛和草地覆盖,其中稀疏灌丛和稀疏草地占7.19%.

本文通过参考高分辨率ASTER图像和野外观测数据,来确定各种土地覆盖类型样本点的位置(经纬度坐标)和数量(共3598个像元).分类的最终分类结果的精度(正确分类数与参考点总数的比值)为89%(表2),该分类精度是通过样本检验计

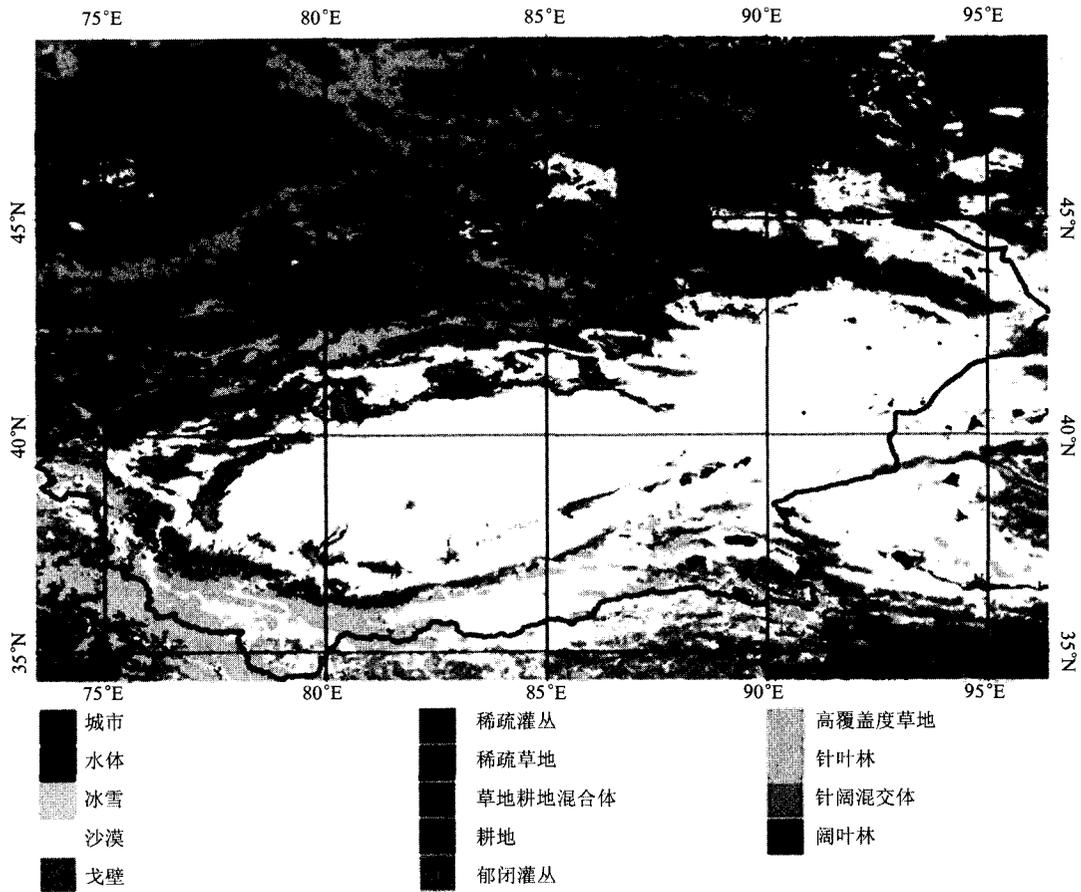


图3 2002年新疆地区 MODIS 1km 土地覆盖分类图  
 Fig.3 MODIS 1km land cover classification result of Xinjiang region in 2002

算出来的. 分类总共选择了 3598 个像元作为精度检验样本点, 正确分类像元达到 3223 个, 所以总体精度为 3223/3598, 即 89%.

表2 中的生产者精度一列, 列出了 14 个土地覆盖类型的训练样区集的像元被分类为假定地表类别的正确度. 而用户精度一列, 显示了假定将像元归为各土地覆盖类型时, 相应的地表真实类别是该土地覆盖类型的概率. 由表 2 可见, 某些土地覆盖类型的生产者精度较低: 城市的生产者精度为 59.26%, 针叶林的生产者精度是 67.74%, 耕地的生产者精度为 69.61%. 城市分类误差是由于使用了 DCW 提供的城市 GIS 数据, 该数据为 1993 年世界城市面积数据, 近 10 年来城市的面积在不断扩大. 针叶林分类误差主要是由于将一些代表针叶林的像元错分为针阔混交林、阔叶林和郁闭灌丛. 耕地分类误差是因为将一些代表耕地的像元错分为草地耕地混合体, 两者的 NDVI 值比较接近. 这种分类误差的另一个原因是由于各种植被的光谱反射值和季节生长变化特性比较相似. 对于荒漠化监测来说, 准确区分出稀疏

植被和高覆盖度植被是非常重要的.

### 3 结语

(1) 植被覆盖是评估荒漠化程度的一个常用标准, 尤其在使用遥感技术的时候. 在干旱地区估算植被覆盖时, NDVI 是一个特别有用的参数. 与 8 月份 (该时段是植被生长期关键月份) 的单时相 NDVI 图像对比, 全年的 NDVI 最大值证明是监测稀疏植被较有效的指标, 因为在干旱和半干旱地区植被生长通常需要大量的降水, NDVI 峰值出现的时间与降雨时间是一致的, 这是由于植被对偶然的降雨很敏感.

(2) 通过分析全年 MODIS NDVI 时序图像, 可以得出许多重要的参数, 例如生长期的长度、不同土地覆盖类型的变动系数、NDVI 的振幅. 这些参数可以被用于监测生态系统一年内的变化, 改善土地覆盖分类的方法.

(3) 提出的分类体系专门分出了稀疏植被 (包括稀疏灌丛和稀疏草地), 强调了稀疏植被这种土

表1 整个研究区域的分类结果

Table 1 Classification result of the total area

代码	类别名称和说明	面积(km <sup>2</sup> )	百分比(%)
1	城市 (建筑物和其它人造结构覆盖的区域)	427	0.0125
2	水体 (海洋、湖泊、河流和水库)	49648	1.4584
3	冰雪 (终年被积雪和冰川所覆盖的陆地)	188749	5.5444
4	沙漠 (表面是裸露的、松散的沙质土壤,全年植被覆盖度不超过10%) 戈壁	1218025	35.7791
5	(表面是裸露的、松散的石质土壤,全年植被覆盖度不超过10%) 稀疏灌丛	846558	24.8673
6	(木本植被的高度低于2m,灌木冠层覆盖度在10%~40%之间) 稀疏草地	116392	3.4190
7	(草本植物的覆盖度低于40%,树木和灌木的覆盖度低于10%) 草地耕地混合体	128255	3.7674
8	(耕地和天然草本植物的镶嵌体,两者所占百分比都不超过60%) 耕地	151268	4.4434
9	(种植农作物的区域) 郁闭灌丛	141778	4.1647
10	(木本植被的高度低于2m,灌木冠层覆盖度大于40%) 高覆盖度草地	132278	3.8856
11	(草本植物的覆盖度>40%,树木和灌木的覆盖度低于10%) 针叶林	111377	3.2717
12	(由常绿或落叶针叶木本植被组成,包括郁闭度在15%~40%之间的非郁闭针叶林和郁闭度>40%的郁闭针叶林,高度>2m) 针阔混交林	88515	2.6001
13	(针叶林和阔叶林混合类型占优势,冠层覆盖度>40%,高度>2m) 阔叶林	67718	1.9892
14	(由落叶阔叶木本植被组成,包括郁闭度在15%~40%之间的非郁闭阔叶林和郁闭度>40%的郁闭阔叶林,高度>2m)	163308	4.7971
合计		3404296	100

地覆盖类型. 这些区域主要分布在沙漠和戈壁周围,属于潜在荒漠化地区. 本次分类后统计出,新疆及周边地区稀疏植被区域已经达到 240 000km<sup>2</sup>,是各种生态环境保护工程需要考虑的区域.

(4) 研究结果表明,可以从 MODIS NDVI 图像中获得用于荒漠化监测的重要参数. 获得的信息可以被用于发现发生荒漠化的“热点”区域,然后使用高分辨率的卫星图像进行详细分析.

表2 精度评估

Table 2 Accuracy assessment

代码	参考点总数	正确分类数	生产者精度(%)	用户精度(%)
1	54	32	59.26	100.00
2	903	903	100.00	100.00
3	842	771	91.57	100.00
4	329	309	93.92	94.79
5	281	229	81.49	68.56
6	160	137	85.63	80.59
7	154	140	90.91	78.21
8	106	93	87.74	72.09
9	102	71	69.61	89.87
10	109	96	88.07	82.76
11	96	77	80.21	80.21
12	93	63	67.74	61.76
13	154	113	73.38	79.02
14	215	189	87.91	86.7
合计	3598	3223	—	—
整体分类精度 = 89.58%			Kappa 系数 = 0.88	

## REFERENCES

- [1] WANG Tao, CHEN Guang-Ting, ZHAO Ha-Lin, et al. Research progress on aeolian desertification process and controlling in north of China [J]. *Journal of Desert Research* (王涛, 陈广庭, 赵哈林, 等. 中国北方沙漠化过程及其防治研究的新进展. *中国沙漠*), 2006, 26(4): 507—516.
- [2] Huang S, Siegert F. Land cover classification optimized to detect areas at risk of desertification in North China based on spot vegetation imagery [J]. *Journal of Arid Environments*, 2006, 67: 308—327.
- [3] LI Hu, GAO Ya-Qi, WANG Xiao-Feng, et al. The analysis and evaluation of desertification in Xinjiang [J]. *Acta Geographica Sinica* (李虎, 高亚琪, 王晓峰, 等. 新疆土地荒漠化监测分析. *地理学报*), 2004, 59(2): 197—202.
- [4] GAO Hui-Jun, TAN Ke-Long, JIANG Qi-Gang, et al. “3S” technology application to dynamic investigation of sandy desertification land [J]. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation* (高会军, 谭克龙, 姜琦刚, 等. “3S”技术在沙质荒漠化土地动态监测中的应用. *地质灾害与环境*), 2005, 16(2): 183—185.
- [5] YANG Xiao-Hui, CI Long-Jun. Progress on remote sensing-based desertification assessment [J]. *World Forestry Research* (杨晓晖, 慈龙骏. 基于遥感技术的荒漠化评价研究进展. *世界林业研究*), 2006, 19(6): 11—17.
- [6] QIAO Feng, ZHANG Ke-Bin, ZHANG Sheng-Yin, et al. RS monitoring on the dynamic change of vegetation coverage in a taming-pasturing ecotone—a case study in Yanchi county, Ningxia Hui autonomous region [J]. *Arid Zone Research* (乔锋, 张克斌, 张生英, 等. 农牧交错区植被覆盖度动态变化遥感监测—以宁夏盐池为例. *干旱区研究*), 2006, 23(2): 283—288.
- [7] WEI Ya-Xing, WANG Li-Wen, WANG Yi-Mou. Using TM to monitor the desertification in West China [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation* (卫亚星, 王莉雯, 王一谋. 利用 TM 监测中国西部沙漠化进程. *水土保持通报*), 2004, 24(4): 47—50.