

# 沙化土地类型图像识别方法对比研究

——以毛乌素沙地典型地区为例

王娟敏<sup>1</sup>, 孙娴<sup>1</sup>, 杨联安<sup>2</sup>, 姜英<sup>3</sup>, 高雪玲<sup>4</sup>

(1. 陕西省气候中心, 陕西 西安 710014; 2. 西北大学 城市与资源学系, 陕西 西安 710069;

3. 国家林业局 西北林业调查规划设计院, 陕西 西安 710048; 4. 陕西省环境科学研究设计院, 陕西 西安 710061)

**摘要:** 以毛乌素沙地典型地区为例, 以 CBERS-2 影像作为基本数据源, 分别使用光谱知识法和波谱角分类法对研究区流动沙地、半固定沙地、固定沙地和沙化耕地进行信息提取, 探索和比较了两种不同方法针对不同沙化土地类型的分类模型和精度。结果表明, 使用光谱知识法对各类型沙化土地分类总体精度为 76.04%, 使用 SAM 方法分类的总体精度为 83.21%, 说明对于 CBERS 影像中的沙化土地而言, SAM 方法能够较为快速准确地提取各类型沙化土地信息。

**关键词:** CBERS-2; 光谱知识法; SAM; 毛乌素沙地; 提取精度

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2010)06-0130-05

中图分类号: S127, S288

## Comparative Study of Image Identification Methods for Deserted Land Type

—A Case Study of Mu Us Sandy Land

WANG Juan-min<sup>1</sup>, SUN Xian<sup>1</sup>, YANG Lian-an<sup>2</sup>, JIANG Ying<sup>3</sup>, GAO Xue-ling<sup>4</sup>

(1. Shaanxi Province Climate Center, Xi'an, Shaanxi 710014, China; 2. Department of Urban and Resources Science, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China; 3. Northwest Institute of Forest Inventory, Planning and Design, Xi'an, Shaanxi 710048, China; 4. Shaanxi Institute of Environmental Science Research and Design, Xi'an, Shaanxi 710061, China)

**Abstract:** Spectral knowledge method and spectral angle mapper (SAM) are used to extract the desertification information, including flow sand, semi-fixed sand, fixed sand, and sandy plantation by taking Mu Us sandy land as a typical area and CBERS-2 as the source of data. The extracted precision of the different methods are analyzed and compared. Results show that the summarized precision of spectral knowledge method is 76.04% and SAM is 83.21%. This indicates that the extracted precision of SAM is higher than spectral knowledge method for extraction of the desertification information on CBERS images.

**Keywords:** CBERS-2; spectral knowledge method; SAM; Mu Us Sandy land; extracted precision

中巴地球资源卫星 CBERS 自发射以来, 以其较高的空间分辨率优势在我国荒漠化及沙化土地研究方面已经有较多的应用<sup>[1]</sup>。谢忙义等人<sup>[2]</sup>应用 Landsat-5 TM 影像和 CBERS-1 CCD 影像进行对比分析, 揭示出金塔绿洲荒漠化动态发展趋势; 陈绍辉、丁峰等人<sup>[3-4]</sup>选用 2000 年古浪县 CBERS-1 数据, 与 TM 影像对比研究后得出, CBERS-1 影像数据完全可用于荒漠化地区大面积土地利用和荒漠化监测; 姚建华等人<sup>[5]</sup>用 2001 年 CBERS-1 影像对宁夏自治区盐池县进行生态环境遥感动态监测的应用研究, 在与 2000 年 Landsat TM/ETM<sup>+</sup> 数据在影像特征、识别效果、分类精度等方面对比后得出, CBERS-1 数据质

量、精度与 TM/ETM<sup>+</sup> 数据在除建筑用地外的其它地类上具有几乎同等的解译与制图效果。这些研究均表明 CBERS 数据在荒漠化及沙化土地研究方面的可行性, 但是为了得到较高的分类精度, 以上研究几乎都是通过直接手工屏幕数字化的方法, 不仅费时且工作量大。

如何得到一种针对沙化土地信息提取较为准确的自动分类方法是目前亟待解决的问题。本研究结合实例探索和比较了从光谱特征角度进行知识发现的光谱知识法和基于混合像元分解原理的波谱角分类法提取沙化信息的模型和精度, 结果发现波谱角分类方法能够较准确地提取沙化土地信息, 相对而言节省了分类时间, 提高了分类效率。

## 1 研究区概况

研究区位于陕西省榆林市榆阳区,属于毛乌素沙地南缘一部分,该区生态环境比较脆弱,曾是国家生态环境建设和防沙治沙以及工矿开发的重点地区。该区域地处中温带半干旱大陆性季风气候区,年平均气温 $8.1^{\circ}\text{C}$ ,湿润指数为0.45,年平均降水414.1 mm,每年的3—5月是大风和干旱同时发生的季节,由于大风、沙尘暴频繁,在粗而疏松的土壤、稀疏的植被条件下,极有利于风蚀过程。该区植被类型较多,包括森林、灌丛、草原、盐碱地等类型,但多数植被结构都比较简单。植物主要以草本为主,木本植物及少量半灌木。

考虑到本研究的可行性,选择榆阳区中心附近, X 坐标为 353 350 ~ 399 350 m, Y 坐标为 4 234 950 ~ 4 244 050 m, 面积为 42 000  $\text{hm}^2$  的区域作为研究区。

## 2 数据源的选取及数据预处理

### 2.1 数据源的选取

2.1.1 遥感数据源时相的选取 提取沙化土地信息时,应选取沙化土地与其它地类具有最大光谱差异的时相,同时也要选取各不同沙化土地类型之间光谱差异最大的时相,基于以上考虑,选择2004年4月26日的CBERS-2 CCD影像、2003年5月11日的Landsat-5 TM影像作为遥感数据源。

2.1.2 其它基础资料的获取 其它统计资料为榆阳区行政区划图、土地分布图、沙化土地现状图以及当地的实地调查、地面监测分析资料和气象水文资料等。

### 2.2 数据预处理

2.2.1 几何校正 根据影像特点,本研究选用二次

多项式的几何校正方法,校正精度小于1个像元。

2.2.2 图像增强 图像对比度增强采用直方图均衡化处理(histogram equalization),使图像中具有不同亮度值的像元具有相同的亮度值,一些相似的亮度值则被拉开,提高了图像的视觉显示效果。

2.2.3 图像裁剪 按照研究区界线绘制AOI(area of interest),将其从整幅图像上分幅剪切下来。

2.2.4 波段融合 按照信息量最大和有效可分性原则,选择CBERS-2 CCD2(绿光)、3(红光)、4(近红外)波段数据,这3个波段组合基本包含了本研究所要提取地类的绝大部分信息,并分别对其赋予红、绿、蓝色,获得近似自然彩色的合成图像,便于提高图像的直观目视效果,提高解译精度。

## 3 沙化土地分类体系建立

按照《全国荒漠化监测主要技术规定》<sup>[6-8]</sup>,对所选研究区实地考察后发现,该区无非生物治沙工程地、风蚀劣地及戈壁,所以将该区沙化土地分为流动沙地、半固定沙地、固定沙地和沙化耕地共4种类型。

## 4 基于SAM的沙化土地类型CBERS-2图像分析与识别

### 4.1 毛乌素沙化土地光谱特征分析

为了从CBERS-2影像中发现沙化土地的光谱特征知识,以便建立基于光谱知识的沙地信息提取模型,分别对不同类型的沙化土地及其背景地物如城镇、水域及林地进行典型区光谱采样,求出各典型区样本的光谱均值、方差(表1),并对各地类的光谱特征进行分析<sup>[9]</sup>。

表1 样区各地物的采样光谱值的均值及方差

波段	参数	流动沙地	半固定沙地	固定沙地	沙化耕地	城镇	水域	林地
B <sub>2</sub>	均值	242.61	196.74	81.27	132.99	134.76	12.68	108.30
	均方差	15.96	23.81	51.52	34.88	38.86	22.43	38.95
B <sub>3</sub>	均值	240.87	193.79	75.67	120.67	117.05	10.03	105.68
	均方差	15.56	23.65	49.67	33.22	32.08	21.06	33.03
B <sub>4</sub>	均值	246.96	210.99	101.13	172.04	81.67	6.31	111.76
	均方差	9.93	20.93	44.48	20.74	36.13	19.31	30.58

为发现沙化土地在每一个波段上与其它地物的可分性,以及在每一个波段上所处的亮度水平,分别在每一个波段上,按各地物的亮度值进行排序:

B<sub>2</sub>: 流动沙地 > 半固定沙地 > 城镇 ≈ 沙化耕地 > 林地 > 固定沙地 > 水域。

B<sub>3</sub>: 流动沙地 > 半固定沙地 > 沙化耕地 > 城镇

> 林地 > 固定沙地 > 水域。

B<sub>4</sub>: 流动沙地 > 半固定沙地 > 沙化耕地 > 林地 > 固定沙地 > 城镇 > 水域。

从分析结果可以看出,(1)流动沙地和半固定沙地的亮度值在3个波段均排在最前面,其中流动沙地光谱范围在240~255之间;半固定沙地光谱范围在

190~215 之间;水域的亮度值最低,光谱范围在 0~15 之间,理论上可以通过设置阈值将流动沙地及半固定沙地提取出来。(2)在  $B_2$  及  $B_3$  波段,固定沙地亮度值均小于沙化耕地、城镇及林地地物亮度值,理论上可设置阈值将固定沙地提取出来。(3)在  $B_4$  波段,沙化耕地亮度值大于固定沙地、城镇与林地,理论上可设置阈值将沙化耕地提取出来。

不同的地物具有不同的谱间关系,表达谱间关系的最简单方法为:就不同的地物,对其各个波段进行排序(表 2)。

根据表 2 可以得到,(1)流动沙地在  $B_2, B_3, B_4$

波段亮度值大致相同。(2)城镇和水域的波段亮度值  $B_4 < B_3$ ,而其它地类均为  $B_3 < B_4$ ,根据这一规则,可将城镇和水域区分出来。(3)半固定沙地、固定沙地及沙化耕地的波段亮度值  $B_3 < B_2$ ,而林地的  $B_2 \approx B_3$ ,通过这个规则可将林地也区分出来。(4)由于半固定沙地、固定沙地及沙化耕地在各波段的亮度值排序均为  $B_3 < B_2 < B_4$ ,因此单纯从谱间关系上来说难以将它们区分开,但是根据上文的分析结果,无论在  $B_2, B_3$  或  $B_4$  波段,这几种地类的亮度值排序均为:半固定沙地  $>$  沙化耕地  $>$  固定沙地,因此可以借助阈值的设置来区分。

表 2 各沙化土地类型谱间关系

流动沙地	半固定沙地	固定沙地	沙化耕地	城镇	水域	林地
$B_2 \approx B_3 \approx B_4$	$B_3 < B_2 < B_4$	$B_3 < B_2 < B_4$	$B_3 < B_2 < B_4$	$B_4 < B_3 < B_2$	$B_4 < B_3 < B_2$	$B_2 \approx B_3 < B_4$

为进一步发现类似状况,分别计算  $B_4 - B_3, B_2 - B_4, B_2 + B_3 - B_4, B_2 + B_4 - B_3$  的波段亮度值(表 3)。分析表 3 发现,通过  $B_4 - B_3 > 0$  或者  $B_2 - B_4 < 0$  可将城镇和水域区分出来;对于半固定沙地,可以再通过对  $B_2 + B_3 - B_4$  设置阈值进行提取;对于固定沙地,由于它在  $B_2 + B_4 - B_3$  波段与其它地类差值较大,因而可以利用该波段作为附属条件进行提取;观察沙化耕地在  $B_2 - B_4$  波段的特征值后发现它最小,通过设置阈值可以将其有效提取。

表 3 特征波段组合

土地类型	$B_4 - B_3$	$B_2 - B_4$	$B_2 + B_3 - B_4$	$B_2 + B_4 - B_3$
流动沙地	6.09	-4.36	236.51	248.70
半固定沙地	17.20	-14.25	179.54	213.94
固定沙地	25.46	-19.86	55.81	106.73
沙化耕地	51.37	-39.04	81.63	184.36
城镇	-35.38	53.09	170.14	99.38
水域	-3.72	6.37	16.41	8.96
林地	6.08	2.63	102.23	114.39

根据以上分析,利用所发现的光谱知识,结合反复试验,建立基于光谱知识的沙化土地提取模型,并据此获得各类型沙化土地提取结果(图 1)。

流动沙地:  $B_2 \geq 230, B_3 \geq 230, B_4 \geq 235$

半固定沙地:  $180 < B_3 < 220$

固定沙地:  $B_2 - B_4 < -15, B_2 + B_4 - B_3 < 200$

沙化耕地:  $B_2 - B_4 < -35$

#### 4.2 基于 SAM 的沙化土地类型 CBERS-2 识别

波谱角分类法(spectral angle mapper,简称 SAM)是一种光谱匹配技术,它以运算影像像元的光谱与样本参考光谱之间的夹角来区分类别<sup>[10-19]</sup>。

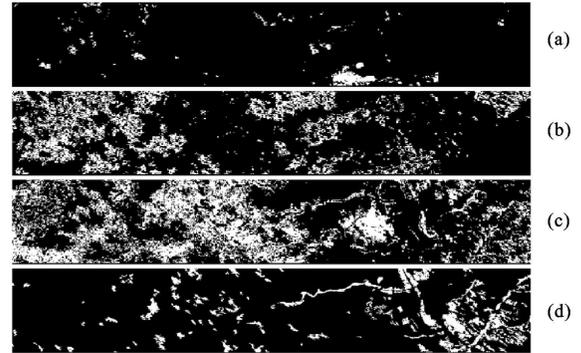


图 1 基于光谱知识法的流动沙地(a)、半固定沙地(b)、固定沙地(c)、沙化耕地(d)提取结果

对 CBERS-2 影像进行最小噪声分离变换(minimum noise fraction,简称 MNF),变换后 3 个 MNF 波段的方差贡献率分别为:67.24%,25.31%,7.45%;选择前两个主成分作为分析数据进行纯净像元指数提取(pixel purity index,简称 PPI)处理,得到图像中最纯净像元;将它们参考原始图像进行分类提取,定义为感兴趣区(AOI);将 AOI 输入到  $n$ -维观察仪( $n$ -Dimensional Visualizer)中获得  $n$ -维散点图;将离散点在三维空间进行旋转,并将旋转过程中集聚在一起的归为一类,赋予特定颜色。

波谱角分类中,波谱矢量间的最大角度阈值不一样,分类结果会有很大不同,ENVI 软件中默认值是 0.1(弧度),根据实际适当调整这个值,分类结果更精确。经过反复试验,确定最佳提取角度阈值,并针对分类结果图斑较多的现象进行临近像元合并<sup>[20-21]</sup>,得到结果如图 2 所示。

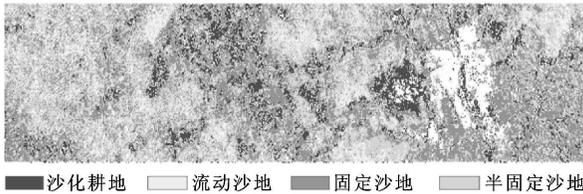


图2 基于SAM的沙化土地提取结果

### 4.3 结果分析

4.3.1 基于光谱知识和SAM方法沙地信息提取结果比较 将基于光谱知识法和SAM方法的CBERS-2沙化土地信息提取结果精度比较后发现(表4),从总体精度来看,使用光谱知识法分类的总体精度为

表4 基于光谱知识和SAM的沙化土地提取结果精度评价

项目	光谱知识法				SAM			
	制图精度	漏分误差	用户精度	错分误差	制图精度	漏分误差	用户精度	错分误差
流动沙地	70.0	30.0	87.5	12.5	86.7	13.3	86.3	13.7
半固定沙地	62.0	28.0	72.1	27.9	74.8	25.2	70.1	29.9
固定沙地	82.1	17.9	72.4	27.6	86.3	13.7	70.8	29.2
沙化耕地	78.9	21.1	83.3	16.7	82.8	17.2	97.8	2.2

4.3.2 基于SAM的CBERS-2和Landsat-5 TM沙化土地提取结果精度分析 为验证CBERS-2沙化土地提取结果精度,使用SAM方法对Landsat-5 TM影像进行不同类型的沙化土地提取(表5),结果分类总体精度为82.7%,Kappa系数为0.76。

表5 基于SAM的TM沙化土地提取结果精度评价 %

项目	制图精度	漏分误差	用户精度	错分误差
流动沙地	88.1	11.9	81.8	18.2
半固定沙地	77.1	22.9	63.5	36.5
固定沙地	57.1	42.9	93.8	6.2
沙化耕地	98.2	1.8	94.7	5.3

综合比较TM和CBERS-2影像沙化土地分类结果,表明总体精度相差较小。波谱角分类法提取结果精度与影像空间分辨率有一定关系,随着空间分辨率增加,纯净像元增加,从混合像元分解角度来说提取结果的精度更高;TM影像7个波段的光谱信息量相对多于CBERS-2,提取时发挥了信息量多的优势。由此说明本研究分别使用光谱知识法和SAM方法对CBERS-2进行沙化土地分类的结果是可信的。

## 5 结论

(1) 使用光谱知识法对CBERS-2影像分类的总

精度为76.0%,使用SAM方法的总体分类精度为83.2%,Kappa系数为0.77。

从各沙化地类精度比较来看:流动沙地、半固定沙地、固定沙地和沙化耕地均为使用SAM方法分类精度较高。这说明使用SAM方法对CBERS-2影像分类时,纯净像元提取较好,另外从n-维观察仪散点图来看,各个类别离散点均相对集中,聚类较好,波谱角阈值设置也较合适,分类精度较高,说明使用SAM方法对CBERS-2进行沙化信息提取能够满足精度要求;使用光谱知识分类法时,虽然结合了专家经验,但是存在的同谱异物、同物异谱现象比较严重,影响了分类精度。

体精度为76.0%,使用SAM方法对CBERS-2影像分类的总体精度为83.2%,使用SAM方法对TM影像分类的总体精度为82.7%;说明使用光谱知识法和SAM方法对CBERS-2进行沙化土地分类的结果是可信的,且SAM方法分类结果精度高于光谱知识法。

(2) 分别比较光谱知识法和SAM方法对流动沙地、半固定沙地、固定沙地和沙化耕地的提取结果精度,SAM方法分类精度较高。

以上结果表明对于CBERS影像,基于混合像元分解原理的SAM方法能够较快速有效地提取该研究区沙化信息。分析原因,SAM方法是在波谱库的支持下,根据图像像元与参考光谱或AOI的相似性来决定一个像元的类别,是基于遥感影像混合像元中亚像元各组分的光谱特性来划分类别,组分越纯,光谱特性越高,作为参考光谱的起点也就越高,各类别光谱与之相似性比较的精度也越高。相对光谱知识法来说,它没有过分依赖人的先验经验选择阈值,从而也部分避免了由于同物异谱或同谱异物现象的存在导致的阈值设置的影响,因而分类精度较高。当然这种方法也存在缺点,即波谱角分类生成的图像会存在更多的零碎图斑,给图像分类的后处理工作带来新的挑战,但对沙化土地自动提取来说,这种方法仍然是分类精度较高,可行性较强的一种方法。

## [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 陈述彭. 中巴地球资源卫星数据的推广应用[ J ]. 地球信息科学, 2008 10(3): 356.
- [ 2 ] 谢忙义, 马立鹏. 中巴地球资源一号卫星在金塔绿洲荒漠化监测中的应用研究[ J ]. 干旱区资源与环境, 2001, 15(4): 44-50.
- [ 3 ] 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[ J ]. 内蒙古林业科技, 2005(4): 23-27.
- [ 4 ] 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[ J ]. 水土保持学报, 2003, 17(1): 63-66.
- [ 5 ] 姚建华. 中巴地球资源卫星数据在毛乌素沙漠生态环境监测中的应用[ J ]. 卫星应用, 2003, 11(4): 48-52.
- [ 6 ] 国家林业局荒漠化监测中心. 全国荒漠化监测主要技术规定[ M ]. 北京: 中国林业出版社, 1998.
- [ 7 ] 国家林业局. 中国荒漠化和沙化简况[ R ]. 北京: 国家林业局, 2005: 1-4.
- [ 8 ] 国家林业局. 中国荒漠化和沙化公报[ R ]. 北京: 国家林业局, 2005: 1-8.
- [ 9 ] 杨存健. 基于知识发现的遥感专题信息[ D ]. 北京: 中国科学院地理研究所, 1999.
- [ 10 ] 常庆瑞, 蒋平安. 遥感技术导论[ M ]. 北京: 科学出版社, 2004: 153-174.
- [ 11 ] 王桥, 杨一鹏, 黄家柱, 等. 环境遥感[ M ]. 北京: 科学出版社, 2005: 55-66.
- [ 12 ] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[ M ]. 北京: 科学出版社, 2003: 56-57.
- [ 13 ] 李晓松, 吴波. 基于光谱混合分析的荒漠化信息提取: 以毛乌素沙地为例[ J ]. 林业科学研究, 2006, 19(2): 192-198.
- [ 14 ] Tromp M, Epema G F. Spectral mixture analysis for mapping land degradation in semi-arid areas[ J ]. Geologic en Mijnbouw, 1998-1999, 7(2): 153-160.
- [ 15 ] Zhou X, Folving S. Application of spectral mixture modeling to regional assessment of land degradation: A case study from Basilicata, Italy[ J ]. Land Degradation & Rehabilitation, 1994, 5: 215-222.
- [ 16 ] Elmore A J, Mustard J F, Manning S J, et al. Quantifying vegetation change in semi-arid environments: Precision and prison of spectral mixture analysis and the NDVI[ J ]. Remote Sensing of Environment, 2000, 73: 87-102.
- [ 17 ] 张友静, 黄浩, 马雪梅. 基于 KPCA 和 SAM 的城市植被遥感分类研究[ J ]. 地理与地理信息科学, 2006, 22(3): 36-38.
- [ 18 ] 傅俏燕, 王志民, 闵祥军, 等. CBERS-1 林被信息挖掘的 GIS 多元分析[ J ]. 地球信息科学, 2005, 7(1): 53-58.
- [ 19 ] 王旭红, 肖平. 基于知识库分类法在植被提取中应用研究[ J ]. 测绘通报, 2004(7): 48-50.
- [ 20 ] 李小娟, 富兆宁. ENVI 遥感影像处理教程[ M ]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007: 381-399.
- [ 21 ] 党安荣, 王晓栋, 陈晓峰, 等. ERDAS IMAGINE 遥感图像处理方法[ M ]. 北京: 清华大学出版社, 2003: 62-133.

(上接第 129 页)

(3) 土地利用变化的原因是受经济利益驱动, 垦荒者和管理者为了获得短期经济收入, 在河边土壤条件适宜的林地和草地上进行土地开垦。同时外来人口的大量涌入对土地开垦起到了推动作用。

(4) 耕地的增加使得巴楚县已经短缺的水资源更加贫乏, 区域用水量超出供水量  $2.80 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。为解决灌溉问题, 垦荒者在挤占区域生态建设用水的同时非法使用原本属于下游的水资源配额, 增加了下游水资源紧缺的状况。

(5) 本研究仅对土地开垦对水资源的影响进行了分析, 对于土地开垦对整个流域带来的生态、经济影响, 有待于今后进一步进行全面地分析论证。

## [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域: 土地利用/覆被变化的国际研究动向[ J ]. 地理学报, 1996, 51(6): 553-558.
- [ 2 ] 史培军, 宫鹏, 李晓兵, 等. 土地利用/覆被变化研究的方法与实践[ M ]. 北京: 科学出版社, 2000: 20-25.
- [ 3 ] 陈佑启, Verburg P H. 中国土地利用/土地覆盖多尺度空间分布特征分析[ J ]. 地理学报, 2000, 20(3): 197-202.
- [ 4 ] 于修兴, 杨桂山. 中国土地利用/覆被变化研究的现状与问题[ J ]. 地理科学进展, 2002, 21(1): 51-57.
- [ 5 ] Li X B, Sun L X. Driving forces of arable land conversion in China[ J ]. IIASA Interim Report IR2972076, Laxenburg: IIASA, 1997.
- [ 6 ] Graetz D, Kitamura T, Liu Y H, et al. Land-use and land-cover change science/research plan[ R ]. I HDP Report No. 7, 1996.
- [ 7 ] Lambin E F, Turner B L, Geist H J, et al. The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths[ J ]. Global Environment Change, 2001, 11: 261-269.
- [ 8 ] 樊自立, 马映军. 塔里木盆地水资源利用与生态平衡及土地沙漠化[ J ]. 中国历史地理论丛, 2002, 17(3): 27-32.
- [ 9 ] 颜长珍, 王一谋, 冯毓荪, 等. 在全数字方式下对宁夏草地覆盖的遥感宏观研究[ J ]. 中国沙漠, 2000, 20(3): 298-300.
- [ 10 ] 王金花, 李森, 李辉霞, 等. 石漠化土地分级指征及其遥感影像特征分析[ J ]. 中国沙漠, 2007, 27(5): 765-770.
- [ 11 ] 刘树林, 王涛. 浑善达克沙地的土地沙漠化过程研究[ J ]. 中国沙漠, 2007, 27(5): 719-724.
- [ 12 ] 裴浩, 李云鹏, 乌日娜, 等. 应用卫星遥感技术监测生态建设工程[ J ]. 遥感技术与应用, 2003, 18(4): 221-226.
- [ 13 ] 李爱敏, 韩致文, 黄翠华, 等. 21 世纪科尔沁沙地沙漠化程度变化动态监测[ J ]. 中国沙漠, 2007, 27(4): 546-551.