

ETM⁺影像提取伏沙地信息的最佳波段组合

——以内蒙古锡林郭勒盟西乌旗为例

张 韬, 赵宇飞, 安慧君, 陈秀兰

内蒙古农业大学林学院, 呼和浩特 010019

摘要 以伏沙地信息提取为研究目的, 依次应用单波段信息量、相关系数矩阵、最佳指数法(OIF)、典型地物影像光谱特征曲线分析的方法, 对内蒙古锡林郭勒盟西乌旗 ETM⁺遥感影像数据的最佳波段选择进行研究。结果表明, 第 4 波段信息量大, 与其他波段间相关性小, 作为必选波段; 5、3 波段次之; 3、4、5 波段组合的 OIF 较高。最后根据目视辨别认定波段(红)4、(绿)5、(蓝)3 组合是针对伏沙地信息的最佳波段组合。

关键词 区域环境; 伏沙地; 波段组合; 相关系数; OIF 指数

中图分类号 X833

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.17.002

Selection of ETM⁺ Remote Sensing Image Optimum Waveband Combination in Information Extraction of Sinking Sandy Land ——The Case in Xiwu Flag, Xilin Gol League, Inner Mongolia

ZHANG Tao, ZHAO Yufei, AN Huijun, CHEN Xiulan

College of Forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010019, China

Abstract This paper discusses the optimum waveband combination in information extraction of sinking sandy land. The single band dataset, the correlation coefficient, the Optimum Index Factor (OIF) and the typical object spectral image feature curve are used to analyze the ETM⁺ multi-spectral band combination for sinking sandy information extraction in Xiwu Flag, Xilin Gol League, Inner Mongolia. The results show that: (1) Band 4 contains the greatest amount of information with the smallest correlation with other bands, band 5 and band 3 follow in their importance. The higher OIF can be obtained with the band 3, band 4, and band 5 combination, which is the best combination for sinking sandy land information extraction. (2) To select the best band combination according to remote sensing research target, different research objects have different best band combinations. To calculate the optimum band combination for relevant index for sinking sandy, one can use ERDAS and EXCEL tools to establish the function model, so as to improve the calculation efficiency. (3) In a typical ground, the feature image characteristic curve, sinking sandy land and typical steppe spectrum may be similar, as their difference is in the underground soil horizon part, while the ground vegetation in the remote sensing image through the spectra is difficult to be distinguished. The texture characteristics through images, the position relations etc are indirectly conditional to discriminate accurately. (4) Through the visual translation process for sinking sandy land with sand and grassland, wetlands, forest multiple properties, to accurately draw the space position of the sinking sandy land, one should consider sinking sandy land causes factors. In addition, because the sinking sandy land soil composition is not complete, humus layer is relatively thin, the structure is loose, the quality of the material is coarse, susceptible to damage, the foundation for sand, once damages, will lead to desertification, and the sand recovery is very difficult. So the relevant Government departments or scholars should try to attach great importance to protection and systematic research.

Keywords regional environment; sinking sandy land; band combination; correlation coefficient; Optimum Index Factor

收稿日期: 2011-05-06; 修回日期: 2011-05-19

基金项目: 内蒙古自治区重点项目(20090905, NDTD2010_10)

作者简介: 张韬, 教授, 研究方向为 3S 技术应用和生态环境保护, 电子信箱: ztteacher@sina.com



0 引言

伏沙地是指分布于干旱—半湿润地区,经风力分选、搬运后沉积下来的沙物质经过尚未充分发育完成的成土过程而在其土壤表层形成薄的腐殖质层,剖面下部均为风积沙母质的土地类型^[1]。根据蒙宁考察队^[2]研究认为,伏沙地分布与中国北方农牧交错带有大部分叠合,然而伏沙地本身腐殖质层很薄,一经风力或人为破坏就产生风蚀破口,再经过外界条件(如风、放牧等)作用使其破口面积扩大,逐步向沙漠化的方向发展,恢复起来相当困难,导致在经济与环境上严重的损失,可谓是真正意义上的生态脆弱带。但蒙宁考察队只是阐述了伏沙地概念以及分布的特点和粗略的范围,没有对其进行系统的研究,而且国内外研究学者尚未研究。所以研究伏沙地在自然地理上独特的空间分布格局、生态上的脆弱性和演变规律,对沙漠化防治、生态维护有着极为重要的意义^[3]。

随着卫星遥感技术和计算机技术的快速发展,同时,不同生境长有不同的植被类型,不同植被类型的吸收和反射的光谱又有所不同,不同光谱在彩色遥感影像上又能以色彩的差异反应出来,故本文应用遥感手段对伏沙地分布规律进行研究。

利用光学方法对遥感影像进行增强或提取某种地物信息时,最佳波段的选择是整个过程中最重要的一步^[4]。波段选择一般要遵循3个原则:(1)所选的3个波段的信息总量要大;(2)所选的3个波段的相关性要弱;(3)目标地物类型要在所选的波段组合内与其他地物具有很好的可分性^[5-6]。

本研究的目的是利用空间分辨率30m的Landsat ETM⁺影像在伏沙地识别中的应用,探索应用最佳的波段组合方式,突出伏沙地在影像上效果,使下一步工作中能够在影像上准确进行分类。研究中应用单波段信息量、相关系数矩阵、最佳指数法(Optimum Index Factor,OIF)、典型地物影像光谱特征曲线分析的方法,最后根据目视辨认确定最佳的波段组合,并利用人机交互的分类方法将伏沙地与其他明显地区区分。通过这次研究可以对伏沙地在遥感影像范围确定的方法和以后该地区生态环境的保护工作起到基础的作用。

1 试验区概况

西乌珠穆沁旗(以下简称西乌旗),位于锡林郭勒盟东部。全境地跨东经116°21′—119°03′,北纬43°57′—45°23′,南北宽约145km,东西长约250km,总土地面积为2296000hm²。

西乌旗属中温带半干旱大陆性气候,受蒙古高原与海洋潮湿季风的影响,冬季漫长、寒冷,夏季短促、凉爽,春季风大且天气变化无常。西乌旗全旗年均气温在0—1℃,7月份平均气温19.5℃,1月份平均气温-19℃。在夏季,地势每升高100m,气温就下降0.7℃;年均积温2486.2℃,≥5℃积温1954.0℃;无霜期100d左右;日照时数2893.9h;年均降水345.8mm,且由东南向西北递减,因而形成了东部湿润、西部干旱的差异;全旗年均蒸发量1759.8mm左右,为年均降水量的5倍多。西乌旗土壤有栗钙土、黑钙土、灰色森林土、灰色

草甸土、沼泽土、粗骨土、风沙土和盐土等土类。栗钙土是该旗分布最广的土类,主要分布在中部和西北部。

2 数据资料及研究方法

2.1 数据资料

2.1.1 数据及预处理

本文采用两景Landsat-7ETM⁺遥感影像,轨道号分别为123029和124029,成像时间分别为2002年8月26日和2002年9月22日。数据文件为13933行,11929列,多光谱影像空间分辨率为30m,以锡林郭勒盟的1:50000和1:1000000的地形图和土地利用现状图以及它们的GIS数据为信息源。研究工作平台建立在专用遥感数字图像处理软件Erdas 8.7、地理信息系统软件ArcGIS 8.3上。

影像预处理包括:(1)进行几何精校正,方法是利用1:50000地形图选择易分辨的控制点,用最近邻像元法对影像重采样输出;(2)对影像进行基于地理坐标的镶嵌处理,并对其裁剪得到研究区遥感影像。由于本研究不考虑温度反演,只选用其中的1、2、3、4、5、7波段进行3波段组合。表1为各波段主要用途^[4]。

表1 ETM⁺各波段主要用途
Table 1 Main purposes of various bands of ETM⁺

波段	主要用途
1	对水体具有投射能力,能够反射浅水水下特征,可区分土壤和植被,编制森林类型图,区分人造地物类型
2	探测健康植被绿色反射率,可区分植被类型和评估作物长势,区分人造地物类型,对水体有一定的透射能力
3	可测量植物绿色吸收率,用于区分植物种类与植物覆盖度,可区分人造地物类型
4	测定生物量和作物长势,区分植被类型,绘制水体边界,探测水中生物的含量和土壤湿度
5	用于探测土壤湿度、植物的含水量、水分状况的研究,区别云与雪
6	探测地球表面不同物质的自身热辐射,可用于热分布制图,岩石识别和探矿等
7	探测高温辐射源,如森林火灾、火山活动等,以及区分人造地物

2.1.2 伏沙地的定位

野外调查以土壤剖面方法判定伏沙地,并用手持GPS定点的方式记录伏沙地的位置,在经过校正后的影像上找出伏沙地位置,得到伏沙地的光谱特征及光谱信息。

2.2 研究方法

(1)各波段的统计信息。统计特征反映了研究区遥感影像所包含的信息,标准差反应图像包含信息量的大小,亮度均值反映图像平均亮度,标准差越大越好,说明图像的反差

大,信息量丰富^[7]。

(2) 相关系数。它反映了不同变量间的相关程度,其大小取决于两个变量间的协方差和它们各自的标准差^[8],其计算公式为

$$R_{ij} = \frac{\sigma_{ij}^2}{\sigma_{ii} \cdot \sigma_{jj}} \quad (1)$$

式中, σ_{ij}^2 为两个波段*i*和*j*的协方差, σ_{ii} 和 σ_{jj} 分别为两个波段*i*和*j*的标准差。

(3) OIF 指数。Chavezetal 最早提出用最佳指数(OIF)来计算任意 3 个波段组合后所包含的信息量^[9]。OIF 与某波段内的标准差成正比,与波段间的相关系数成反比。它是一个比较客观的衡量标准,可以用它来选择组合波段。具体则通过组合的 3 个波段标准差之和最大及组合波段间相关系数之和最小为准则来加以判断最佳波段组合的选择。计算公式如下:

$$OIF = \sum_{i=1}^3 S_i / \sum_{i=1}^3 |R_{ij}| \quad (2)$$

式中, S_i 为第*i*波段的标准差, R_{ij} 为*i**j*波段的相关系数, $j=1,2,3$,且*i*≠*j*,它是在数据统计分析的基础上,选择标准差大、相关性强的数据。

(4) 典型地物影像光谱特征分析。在 Erdas 8.7 软件中,首先选取伏沙地的若干样本,样本的选择一定要具有代表性,而且要有一定的数量;然后再分别选取其他地物类型的样本,如典型草原、伏沙地等,按照以上提出的计算方法得到各个指标值。

3 结果及分析

3.1 各波段统计信息分析

研究区各波段光谱信息的统计是应用 Erdas 8.7 软件中 loyer info 获取,结果见表 2。通过获得研究范围的多波段光谱信息可以看出,标准差由大到小的排列顺序为 5>7>3>4>2>1。说明波段 5、7、3、4 信息比较丰富,但不能判断最佳波段组合,需进行波段间的相关性分析。

表 2 各波段统计信息(单位:Bit)
Table 2 Statistical information of bands (unit: Bit)

波段	最大亮度值	最小亮度值	均值	标准差
1	255	0	45.565	39.915
2	255	0	38.396	34.176
3	255	0	38.681	35.983
4	251	0	39.831	34.701
5	255	0	63.397	56.141
7	255	0	42.476	40.075

3.2 各波段相关系数分析

波段间相关系数反映光谱信息一致性的强弱,相关系数越大,表明波段间信息冗余越大^[10]。由于 Erdas 8.7 中没有相应的模块能计算出相关系数,应用软件的 model 模块进行开发,其流程图,如图 1 所示,计算得出各波段相关系数,见表

3。分析各波段之间的相关系数矩阵,很明显看出波段 4 属于近红外波段,它和其余波段的相关系数最小,做为首选波段;波段 1 与波段 2、波段 1 与波段 3、波段 2 与波段 3、波段 5 与波段 7 相关系数较高,每两个波段组合都会有较大的信息冗余,故不宜于将波段组合在一起,还需进一步讨论。

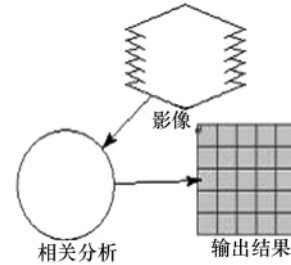


图 1 Erdas 空间建模求解相关系数

Fig. 1 Erdas spatial modeling for the correlation coefficient

表 3 各波段间相关系数

Table 3 Correlation coefficients between bands

波段	1	2	3	4	5	7
1	1					
2	0.997	1				
3	0.978	0.988	1			
4	0.961	0.957	0.914	1		
5	0.972	0.974	0.972	0.946	1	
7	0.944	0.954	0.977	0.883	0.983	1

3.3 OIF 分析

最佳指数 OIF 计算是利用 Excel 将 OIF 指数公式输入,将标准差和相关系数结果代入得出 OIF 结果,如表 4 所示。6 个多光谱波段可能形成的三波段组合有 20 种,计算每种组合 OIF 并按照指数大小顺序排序。4、5、7 波段组合的 OIF 最大,波段组合信息量最大;2、3、4 波段组合的 OIF 最小,其中,波段 1、2、2、3、1、3、5、7 的波段间相关系数大,说明信息冗余较大,又根据前面的分析初步判断,band4 必选,所以,最佳波段的可选方案为:1、4、5、2、4、5、3、4、7、2、4、7、3、4、5 与 3、4、7 波段组合。

3.4 典型地物光谱特征分析

由于不同地物光谱特征不同,即它们辐射和反射特性各不相同,因此在不同的波段上被反映的灵敏度也不相同。本文结合野外 GPS 定位调查和研究区资源分布对典型地物光谱特征提取,在影像各个波段上分别取相同类地物 30 个点,记录其灰度值,进行平均计算得出该地物光谱特征值,得到不同地物影像光谱灰度值并绘制典型地物影像光谱曲线(图 2)。由图 2 可知,第 3、5、7 波段分离好,表明地物在这几个波段中容易区分。伏沙地第 5 波段与其他光谱差异最大,第 3 波段次之,但典型草原与伏沙地的光谱曲线相近很难区分,则需要通过影像上色差、纹理和位置等关系来区分。

表 4 OIF 表
Table 4 OIF table

排序	波段组合	OIF 指数	标准差求和	相关系数求和
1	1、5、7	46.957	136.131	2.899
2	4、5、7	46.561	130.917	2.812
3	1、4、5	45.417	130.757	2.879
4	1、3、5	45.189	132.039	2.922
5	3、5、7	45.095	132.199	2.932
6	2、5、7	44.801	130.392	2.910
7	3、4、5	44.789	126.825	2.832
8	1、2、5	44.246	130.232	2.943
9	2、4、5	43.464	125.018	2.876
10	2、3、5	43.051	126.300	2.934
11	1、4、7	41.131	114.691	2.788
12	1、3、7	40.006	115.973	2.899
13	3、4、7	39.922	110.759	2.774
14	1、2、7	39.439	114.166	2.895
15	2、4、7	39.001	108.952	2.794
16	1、3、4	38.769	110.599	2.853
17	2、3、7	37.770	110.234	2.919
18	1、2、4	37.328	108.792	2.914
19	1、2、3	37.156	110.074	2.962
20	2、3、4	36.685	104.860	2.858

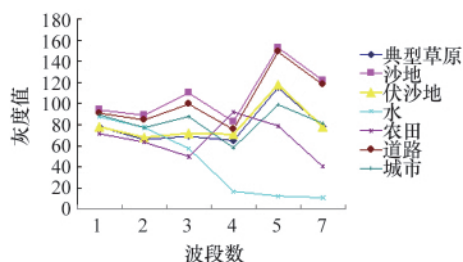


图 2 典型地物影像光谱曲线
Fig. 2 Spectral curves of typical object

3.5 人机交互解译分析

通过以上方法可以得出:3、4、5 波段为最佳波段。将 3、4、5 波段逐个导入, 经过目视比对认定红 4 绿 5 蓝 3 为突出伏沙地信息的最佳波段组合。因为在 4、5、3 波段组合(图 3)下伏沙地以灰绿色、浅黄偶夹杂白色, 不规则纹理, 常有风蚀破口或在水域、沙地附近。而标准假色彩 4、3、2 波段组合(图 4), 伏沙地与典型草原都以暗红不规则纹理, 在沙地与伏沙地边界不明显并且色彩发白、亮度大难以区分, 易混淆, 所以 4、5、3 波段组合可以有效地区分伏沙地和典型草原及其他类型, 主要地类的解译标志见表 5 和分类图 5。

4 结论

本文以内蒙古锡林郭勒盟西乌旗 2002 年的 ETM+影像为数据源, 进行了针对伏沙地信息提取的最佳波段组合研究, 得到了如下的结论。

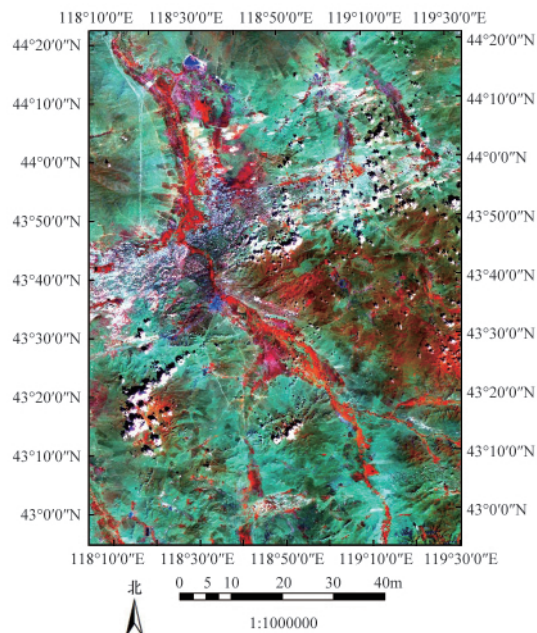


图 3 4、5、3 波段组合影像
Fig. 3 4, 5, 3 band combination image maps

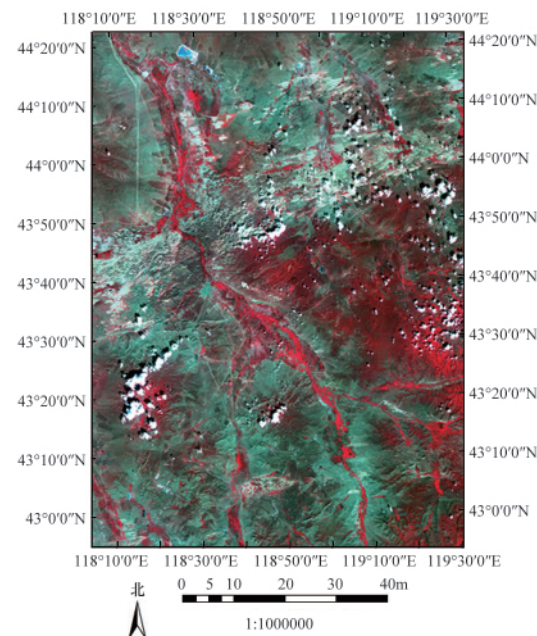


图 4 4、3、2 波段组合影像
Fig. 4 4, 3, 2 band combination image maps

(1) 选取最佳波段组合时要针对遥感研究的目标对象进行, 不同的研究对象有不同的最佳波段组合。计算最佳波段组合的有关指标时, 可以利用 Erdas 和 Excel 软件的工具建立函数模型, 从而提高计算的效率^[10]。

(2) 通过单波段信息量、相关系数矩阵、组合波段信息量 (OIF) 和典型地物影像光谱特征分析得出: 波段 (红) 4 (绿) 5 (蓝) 3 为伏沙地信息提取的最佳波段组合。

(3) 在典型地物影像光谱特征曲线中可以看出, 伏沙地

表 5 各种类型解释标志
Table 5 Various types of interpretation signs

地类	影像上图像特征	解译标志	间接解译标志
伏沙地	为灰绿色、浅黄偶夹杂白色,不规则纹理		有风蚀破口、水域或沙地周边
典型草原	墨绿色、暗红,形状不规则、纹理明显		
沙地	白色、浅白色、乳白色、色调不均、蓝红白波纹相间分布		有明显的沙丘、成片状
水域	蓝色、深蓝色不规则形状		色调不均水深颜色黑水浅颜色浅
农田	暗红色、鲜红色,有明显规则界线		在水域或城市周围常见
道路	乳白色、灰白色,规则的线状		城市周围尤为明显
城市	灰蓝色中有土红色点状,中心为规则几何形状,外围成散射状道路		

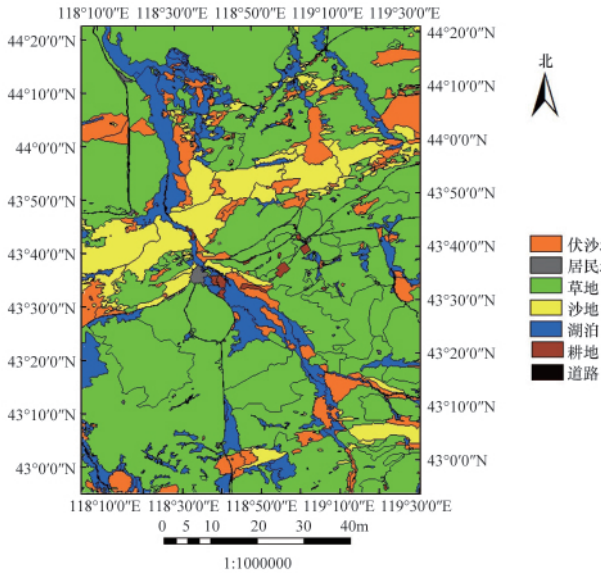


图 5 人机交互分类

Fig. 5 Classification maps for visual interpretation

和典型草原光谱具有相似性,易混淆,原因是伏沙地与典型草原区别是在地下土层部分,而地上植被在 ETM+遥感影像中通过光谱很难区分,需进一步在目视解译下,通过影像的纹理特点、位置关系等间接条件准确区分。

(4) 通过目视解译过程中得知伏沙地具有沙地与草原、湿地、森林的多重特性,要准确的勾绘出伏沙地的空间位置,还应考虑伏沙地的成因等因素。

此外,由于伏沙地的土壤成土不完全、腐殖质层较薄、结构松散、质地粗、易破坏、母质为沙物,一经破坏即向沙漠化演变,而沙地的恢复极其困难。希望有关单位或学者应加以重视保护,并进行系统的研究。

参考文献 (References)

[1] 姜艳丰, 王伟, 王立新, 等. 内蒙古西乌珠穆沁旗伏沙地土壤环境粒度特征分析[J]. 内蒙古环境科学, 2007, 19(3): 65-67.
Jiang Yanfeng, Wang Wei, Wang Lixin, et al. Inner Mongolian Environmental Sciences, 2007, 19(3): 65-67.

[2] 中国科学院内蒙宁夏综合考察队. 内蒙古自治区及东北西部地区地貌[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
Comprehensive Survey Team of Neimengningxia, Chinese Academy of Science. Inner Mongolia Autonomous Region and the western landscape in Northeast[M]. Beijing: Science Press, 1980.

[3] 郝飞, 张韬, 邹文涛, 等. 额济纳绿洲景观格局变化研究 [J]. 安全与环境学报, 2008, 8(1): 100-105.
Hao Fei, Zhang Tao, Zou Wentao, et al. Journal of Safety and Environment, 2008, 8(1):100-105.

[4] 游先祥. 遥感原理及在资源环境中的应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 2003.
You Xianxiang. Remote sensing principles and applications in the resource environment[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2003.

[5] 王庆光, 潘燕芳. 多光谱遥感数据最佳波段选择的研究 [J]. 韶关学院学报: 自然科学版, 2006, 27(3): 42-44.
Wang Qingguang, Pan Yanfang. Journal of Shaoguan University: Natural Science Edition, 2006, 27(3): 42-44.

[6] 戴昌达. 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.
Dai Changda. Journal of Remote Sensing, 1989, 4(4): 282-292.

[7] 卢玉东, 尹黎明, 何丙辉, 等. 利用 TM 影像在土地利用/覆盖遥感解译中波段选取研究[J]. 西南农业大学学报, 2005, 27(4): 479-486.
Lu Yudong, Yin Liming, He Binghui, et al. Journal of Southwest Agricultural University, 2005, 27(4): 479-486.

[8] 李新举, 刘宁, 田素锋, 等. 黄河三角洲垦利县可持续土地利用评价及对策研究[J]. 安全与环境学报, 2005, 5(6): 91-95.
Li Xinju, Liu Ning, Tian Sufeng, et al. Journal of Safety and Environment, 2005, 5(6): 91-95.

[9] 李石华, 王金亮, 陈姚, 等. 多光谱遥感数据最佳波段选择方法试验研究[J]. 云南地理环境研究, 2005, 17(6): 29-33.
Li Shihua, Wang Jinliang, Chen Yao, et al. Yunnan Geographic Environment Research, 2005, 17(6): 29-33.

[10] 官凤英, 范少辉, 邓旺华, 等. 基于 ETM+影像竹林信息提取的最佳波段组合研究[J]. 竹子研究汇刊, 2009, 28(3): 10-13.
Guan Fengying, Fan Shaohui, Deng Wanhua, et al. Journal of Bamboo Research, 2009, 28(3): 10-13.

[11] 武文波, 刘正纲. 一种基于地物波谱特征的最佳波段组合选取方法 [J]. 测绘工程, 2007, 16(6): 24-33.
Wu Wenbo, Liu Zhenggang. Engineering of Surveying and Mapping, 2007, 16(6): 24-33.

(责任编辑 岳臣)