

# 黄河黑山峡无植被区的地表组成物质 遥感信息模型

王树东, 杨胜天\*, 温志群, 曾红娟, 王玉娟

(北京师范大学 地理学与遥感科学学院; 遥感科学国家重点实验室;

北京市环境遥感与数字城市重点实验室; GIS 与遥感中心, 北京 100875)

**摘要:** 下垫面物质组成是土壤侵蚀模型最主要的输入参数。应用遥感技术提取无植被地区下垫面物质组成信息对于研究大面积土壤侵蚀是非常重要的。黄河黑山峡地区地形复杂, 加之裸土、沙漠和岩石光谱的相似性与复杂性, 使遥感技术在该地区的应用受到限制, 但是由于地形起伏、岩石风化及表面粗糙度等因素的影响, 石质山地纹理明显。综合了光谱和纹理信息特征, 本文提出光谱归一化方法, 并将归一化的光谱与纹理信息相结合构建了石质山地指数 (RMI), 应用归一化光谱进一步得到沙漠指数 (DI), 实现石质山地、沙漠与裸土分离。结果表明, 该方法提高了信息提取的精度。

**关键词:** 下垫面类型; 光谱与纹理; 遥感模型; 土壤侵蚀

**文章编号:** 1000-0585(2009)04-1128-08

## 1 引言

黄河黑山峡属于温带干旱气候区, 降水集中, 地形地貌复杂。在自然和人为因素的综合作用下, 区内植被覆盖度低, 水土流失加剧<sup>[1, 2]</sup>: 一方面导致人们生活、生产条件差, 阻碍经济发展; 另一方面造成黄河下游河道淤积堵塞, 严重影响河行洪安全。水土流失监测与治理成为国家和地方极为关注的问题, 而下垫面的物质组成信息的识别则成为问题解决的关键之一。区域下垫面的物质组成 (裸土、沙漠、岩石等) 制约着降水的入渗系数、土壤侵蚀速率等<sup>[3~5]</sup>, 不同的物质组成类型土壤侵蚀量往往相差较大<sup>[6~8]</sup>。

遥感应用与人工调查相比具有价廉、快速、客观等无可比拟的优势<sup>[9]</sup>。在生态水文过程研究时, 常与 GIS 数据相结合进行土壤侵蚀等相关领域研究<sup>[10~12]</sup>。但是, 关于下垫面的物质组成, 常将下垫面简单地作为一种或两种物质类型处理<sup>[13, 14]</sup>, 这些模型和方法在应用到黄河这样复杂的下垫面情况下, 难免与实际产生大的偏差。遥感数据光谱分析方法是地物识别的基础, 常见的各种植被指数、分类方法等大都基于光谱分析得到的<sup>[15, 16]</sup>。但是, 对研究区下垫面分析表明, 有石质山地的区域地形起伏较大, 阴影与非阴影区往往处于共存的状态, 光谱变化非常复杂, 容易产生“同物异谱”和“同谱异物”现象<sup>[17]</sup>, 但同时也会在高分辨率影像上形成较清晰的纹理特征。这就为结合纹理与光谱特征进行下

收稿日期: 2008-07-17; 修订日期: 2008-11-27

基金项目: 国家科技支撑计划 (2006BAB07); 绿洲生态教育部省部共建重点实验室开放基金

作者简介: 王树东 (1973-), 男, 博士后。从事资源环境遥感研究。E-mail: wangsd@bnu.edu.cn

\* 通讯作者: 杨胜天 (1965-), 男, 博士, 教授。主要从事自然地理、遥感和环境科学研究。

E-mail: yangshengtian@bnu.edu.cn

垫面遥感信息提取提供了可能。关于遥感影像纹理, 早在上世纪 70 年代国内外就开始研究, 但大都集中在纹理信息的提取算法和作为矢量与其他光谱波段重新构成向量空间进行分类方面<sup>[18~21]</sup>。

本研究旨在应用光谱与纹理分析技术, 结合黄河黑山峡下垫面的特点, 对光谱与纹理信息进行二次处理, 重新构建向量空间, 得到典型地物的特征谱, 通过构建模型, 使之能够区分和识别这些地物, 为该区土壤侵蚀、水文过程等研究提供更精确的数据支持。

2 研究区概况

黄河黑山峡区域位于东经 104°2′~105°15′, 北纬 36°32′~37°38′ 的范围内, 包括宁、蒙、甘三省区交界处的宁夏中卫市、甘肃白银市的黄河干流区段 (河段长 200km) 和内蒙古阿拉善左旗境内腾格里沙漠的部分地区。地形复杂多变, 总体走向为西北向东南倾斜, 海拔高度在 1220~2997m 之间, 相对高差达 1777m。地貌主要类型为山地、丘陵、沙漠和平原 (图1)。

沙漠主要分布于黄河北岸的阿拉善左旗, 地处腾格里沙漠边缘, 受强劲的西北风影响, 由腾格里沙漠前移堆积而成, 沙层厚度一般在 20~30m, 最厚达 50m。沙丘纵横, 高低起伏, 覆盖在第三纪红砂岩和黄河第一、二阶地以及湖盆地上, 形状多为垄状沙丘、新月形沙丘链和新月形沙丘, 高程 1245~1300m, 构成了典型的风沙地貌景观; 研究区内山地面积最为广阔, 中卫市境内黄河南岸是香山土石山区, 靠近黄河岸边地形较为平缓, 但宽度较窄, 平均宽 100m 左右, 向南地形起伏较大, 属烟洞梁山的北段, 地面高程 1400~2997m。最高高程 2997m, 位于靖远县境内; 丘陵位于项目区的中部, 高程 1700~2000m, 地面组成物质为黄土。丘陵较平缓, 在黄土梁上分布有坡耕地。由于该区域的植被覆盖小, 水土流失严重, 分布有大量的侵蚀沟; 主要有三块比较大的平原, 分别位于中卫市、靖远县、景泰县。平原高程 1250~1400m, 由黄河的冲积物构成, 高程变化小。

研究区属中温带干旱气候区, 因受蒙古高压的影响, 具有典型的大陆性和沙漠气候特征, 降水少而集中, 气候干旱, 温度变化剧烈, 风大沙多。年平均气温 8.6℃, 极端最高温度 37.6℃, 极端最低温度 -29.2℃, 沙面最高温度达 74℃。光照条件好, 年日照时数 2896h, 热量充足, ≥10℃的有效积温在 3017℃以上, 干燥度为 2.4。初霜出现在 9 月下旬, 终霜期在 4 月中下旬, 无霜期约 150~180 天。平均年降水量 202.1mm, 最大为 308.2mm, 最小 86.5mm, 降水多集中在 7~9 月, 占全年降水量的 58.8%。径流来源于大气降水, 其中以雨水补给为主, 雪水补给为辅。

在该区域调查了 200 余个典型点的数据, 点位数据包括植被覆盖区、沙漠、土山区和

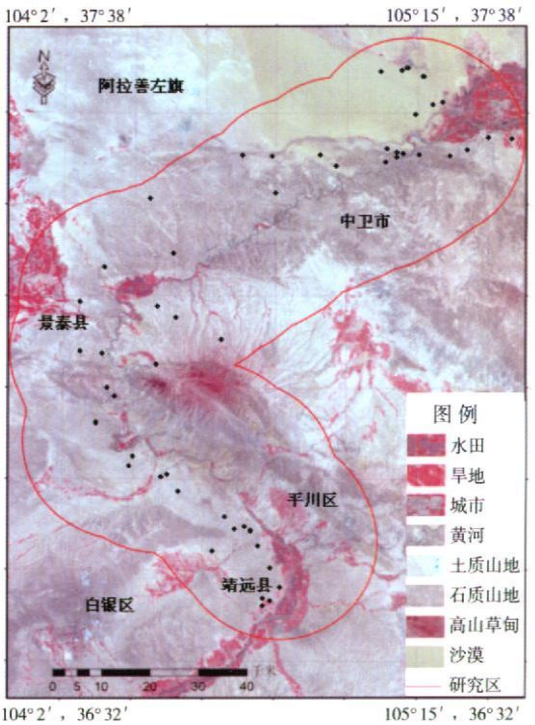


图 1 研究区示意图

Fig. 1 Distribution of investigation areas

石质山地等 (图 1)。

### 3 光谱数据与纹理信息处理与分析

#### 3.1 光谱信息处理与分析

##### (1) 实测光谱数据处理与分析

将从研究区采集到的沙漠、裸土、岩石几十个样品进行光谱测量。测量仪器采用美国 ASD 光谱仪和 80% 标准板, 光谱测量范围为 380~ 2500nm, 光谱分辨率为 2~ 3nm (380~ 970nm 分辨率为 2nm, 970~ 2500nm 分辨率为 3nm); 测量地点选择在室外开阔地, 周围没有遮挡, 没有强反光物体, 人员着装、天气、测量严格按照遥感科学国家重点实验室制定的《野外光谱测量规范》的要求。通过光谱对比 (图 2), 在 0.4~ 0.65 $\mu\text{m}$  之间, 裸土相对于沙漠更平直, 且反射率高, 而沙漠则表现反射率随波段上升速度慢; 而岩石则在 0.4~ 1.3 $\mu\text{m}$  之间随着波长的增加变化更加缓慢, 而且反射率较前两者更低。以上分析说明, 从光谱分析的角度, 三种地物存在着可分性。

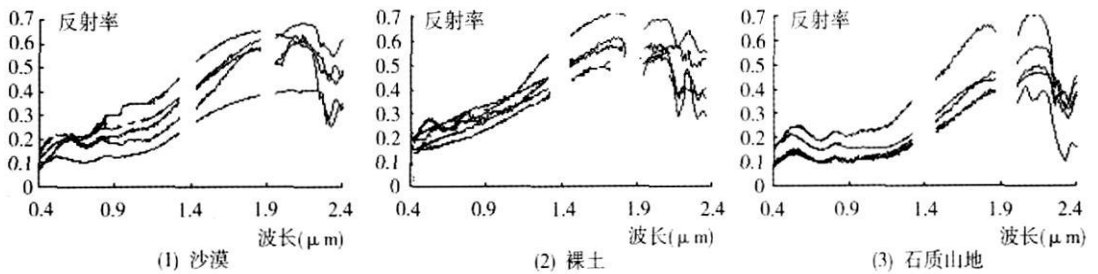


图 2 下垫面类型的光谱

Fig 2 Spectral curves of various kinds of ground objects

##### (2) 陆地卫星数据处理与光谱分析

将 2007 年 7 月的原始 Landsat TM 影像进行如下处理: 首先对影像进行几何纠正, 误差在半个像元以内; 然后按照中国科学院卫星地面站的 Landsat TM 数据标定文件, 进行辐射纠正, 在此基础上选择 ENVI4.3 的 FLAASH 模块进行大气纠正, 最后得到影像的反射率; 根据 NDVI 值, 对植被信息进行判定, 并作掩膜处理。对比大量采样点的石质山地、裸土和沙漠的光谱发现 (图 3(1)(2)(3) 和图 4(1)(2)(3)), 裸土与沙漠的光谱差别主要在 1、2 波段; 石质山地与裸土、沙漠的差别主要在于 1、2、3、4 波段, 石质山地波形随着波长的增加反射率变化缓慢。上述 TM 得到的光谱表明与前面实测的光谱变化特点基本一致, 但是由于受到阴影的影响导致光谱相对变异性较大, 很难进行规律分析。为了找到不同地物之间的差异, 将裸土、沙漠和石质山地光谱信息作归一化处理, 即采用 TM 数据的前 5 个波段, 将每个波段反射率与第 1 波段的反射率之差做分子, 第 5 波段与第 1 波段之差作分母, 然后将两者相除, 即:

归一化光谱反射率 = (波段  $i$  - 波段 1) / (波段 5 - 波段 1) ( $i$  取值为 1, 2, 3, 4, 5)

归一化处理后的光谱 (如图 3(4)(5)(6)) 中 1、2、3、4、6 波段 (分别对应 3(1)(2)(3) 中的 1、2、3、4、5 波段)。对比沙漠、裸土、石质山地的归一化光谱发现 (图 4(5)(6)): 在第 4 波段, 石质山地更容易被区分, 而在第 2 波段, 土山和沙漠更易被区分。

#### 3.2 纹理信息分析

利用纹理分析辅助遥感影像进行信息提取, 可提高具纹理特征下垫面的精度, 其中灰

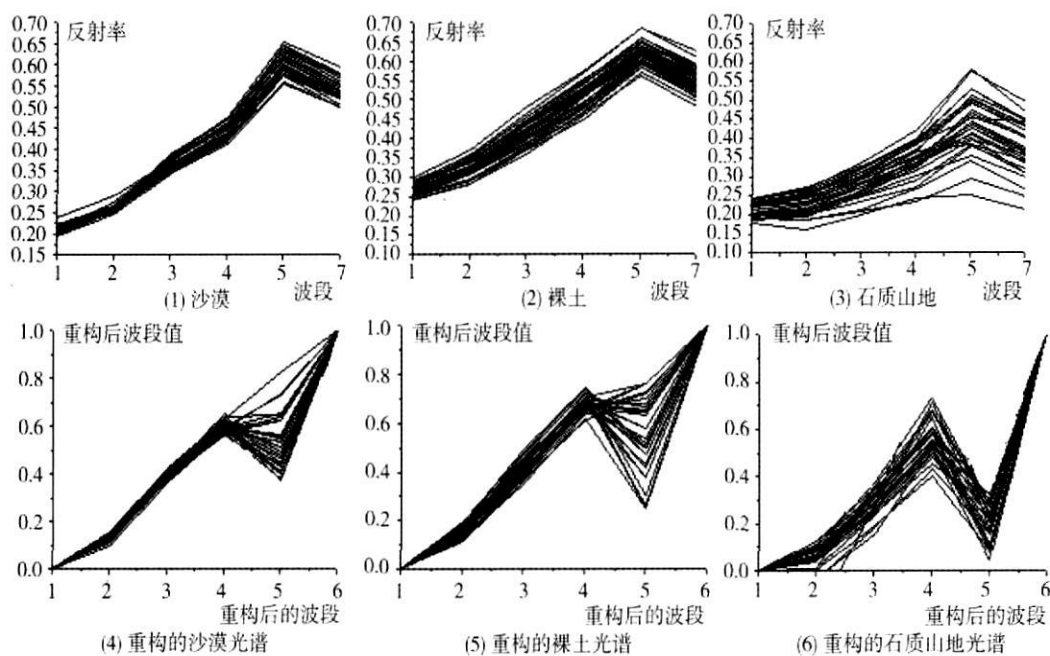


图3 原始光谱与重构后光谱对比

Fig. 3 The comparisons between original and reconstructed spectra

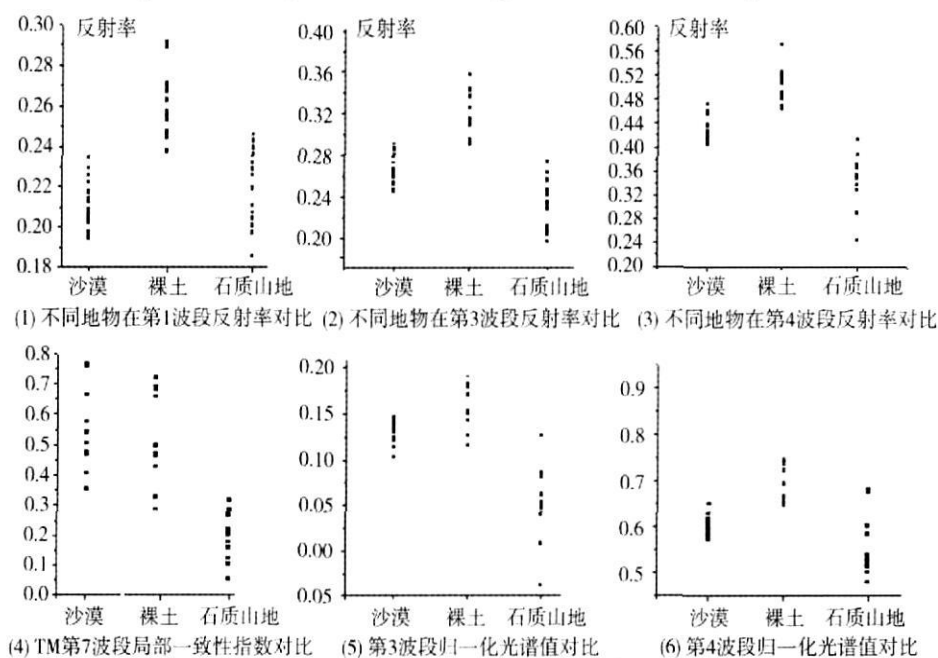


图4 不同地物波段值的差别

Fig. 4 The comparisons of various band values

度共生矩阵是最常用和有效的方法。灰度共生矩阵是设定距离和方向的两个邻近数据处理窗口像素的相关频率矩阵,表示一个像素和一个限定的像素之间的关系,但是矩阵并不使用原始值。常见的主要包括方差、局部一致性指数(homogeneity)、信息熵等。局部一致

性指数是共生矩阵进行纹理分析的一种有效方法,通过对影像灰度级之间二阶联合条件概率  $P(i, j/d, \theta)$  计算表示纹理。 $P(i, j/d, \theta)$  表示在给定空间距离  $d$  和  $\theta$  方向时,以灰度级  $i$  为起始点,出现灰度级  $i, j$  的概率,一般需要在不同的  $d, \theta$  下计算<sup>[22~23]</sup>。

通过对比,认为 TM 数据第 7 波段的局部一致性指数最能反映纹理的变化特征。

$$f_{H_{om}} = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} \frac{P(i, j/d)}{1 + (i \cdot j)^2} \quad (1)$$

式中,  $N$  为共生矩阵的阶数,  $i, j$  为共生矩阵的坐标,  $p$  为  $(i, j)$  处的共生矩阵数值。

为了便于数据分析,将 TM 第 7 波段局部一致性指数看作第 5 波段加入到归一化的光谱中(图 3(4)(5)(6) 中第 5 波段即局部一致性指数,其他为相应的归一化波段)。

通过对比分析(图 4(4)),石质山地与沙漠、裸土相比局部一致性指数差别明显,而沙漠与裸土的则不明显。

### 3.3 光谱-纹理信息综合分析

由于局部一致性指数主要是表征空间变化程度,灰度变化越明显,局部一致性指数越小,反之则大,而且局部一致性指数取值范围在 0-1 之间,所以将纹理信息即 TM 数据的第 7 波段的局部一致性指数与归一化后反射率组合成新的波段(图 3(4)(5)(6))进行分析,与原始光谱对比表明:采用归一化的 2, 3, 4 波段和纹理信息更易分离石质山地信息;而对于分离沙漠和裸土,则主要在原始光谱的第 1, 2 波段和归一化光谱的第 4 波段。因此,在不考虑水体与植被信息的情况下(对这些信息作掩膜处理),构建相应的模型逐项进行信息分离是较好的途径。

## 4 模型的构建

### 4.1 石质山地分离

根据上述分析,归一化的光谱 2, 3, 4 波段能够更好对石质山地信息进行区分,所以构建了归一化光谱模型(NSI);加入纹理信息后,发现有利于更好提取石质山地信息,为此综合运用归一化光谱反射率和纹理信息构建了归一化光谱-纹理信息综合模型(RMI):

归一化光谱模型(NSI-归一化光谱指数):

$NSI = (R_4 + R_3 + R_2 - 3 \times R_1) / (R_5 - R_1)$  ( $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_i$  分别为第 1-5 波段的反射率和局部一致性指数)

综合归一化光谱和纹理信息模型(RMI-石质山地指数):

$$RMI = (R_4 + R_3 + R_2 - 3 \times R_1) / (R_5 - R_1) + R_i$$

将图像的水和植被信息(利用 NDVI 值确定水和植被)进行掩膜后,分别输入上述模型进行石质山地信息分离(图 5)。通过 121 个采样点并结合总体目视判读分析表明,归一化光谱模型总体的精度为 78.3%,而 RMI 的总体精度超过 82.7%,提高了 4 个百分点。

### 4.2 裸土与沙漠分离

利用排除法,在对水体、植被和石质山地做掩膜后,开始对余下的裸土和沙漠进行分离建模。由于原始光谱和归一化后的光谱相比,裸土和沙漠原始光谱的 1, 2 波段之间的差别相对于归一化后 1, 2 波段光谱更明显,而在第 4 波段则归一化后的波段更明显。所以,建立沙漠-土山分离模型(DS-Def):  $DS-Def = (R_4 - R_1) / (R_5 - R_1) + R_1 + R_2$

将模型输入到图像中,信息分离的结果(图 6)表明,取 92 个点并结合目视判读信息进行精度分析,沙漠提取的精度为 73.1%,裸土精度为 72.8%。



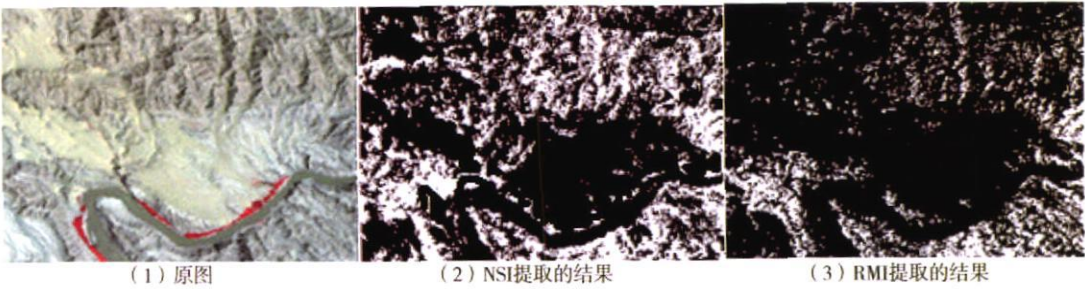


图 5 利用归一化光谱模型与加入纹理的光谱信息模型的效果对比  
Fig. 5 The results comparison between the models NSI and EMI

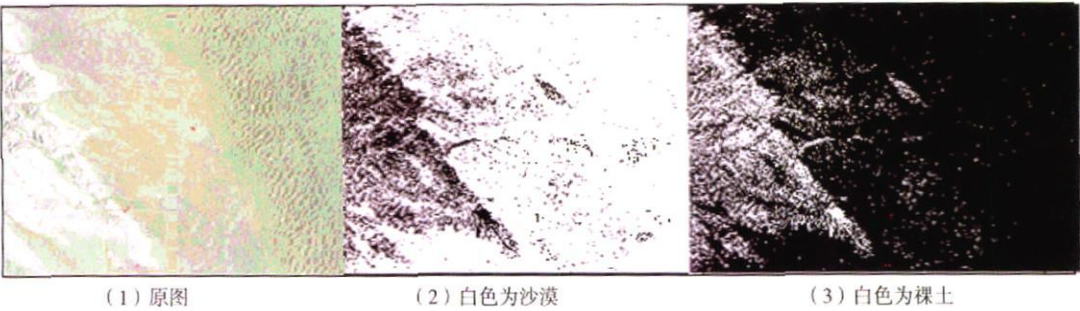


图 6 利用归一化的光谱模型提取的沙漠和土山效果

Fig. 6 The result for desert and soil mountain using normalized spectral model

4 3 结果分析

为了评价上述模型的效果，选择黑山峡的另一个区域，将应用上述模型与最常用的监督分类的最大似然法得到的下垫面的精度进行对比（图 7），通过 153 个点并结合总体目视判读分析表明，监督分类的最大似然法得到的精度低于上述模型的提取结果（表 1），从而证明上述结果是有效的，相比传统的方法一定程度上提高了精度。

表 1 模型提取和传统的分类方法精度对比

Tab 1 The precision comparison between the information extraction models and traditional classification method

类别	监督分类	模型提取
沙漠	67. 2%	73. 1%
裸土	66. 1%	72. 8%
石质山地	65. 7%	82. 7%
总体分类精度	66. 0%	78. 4%
Kappa 系数	0. 658	

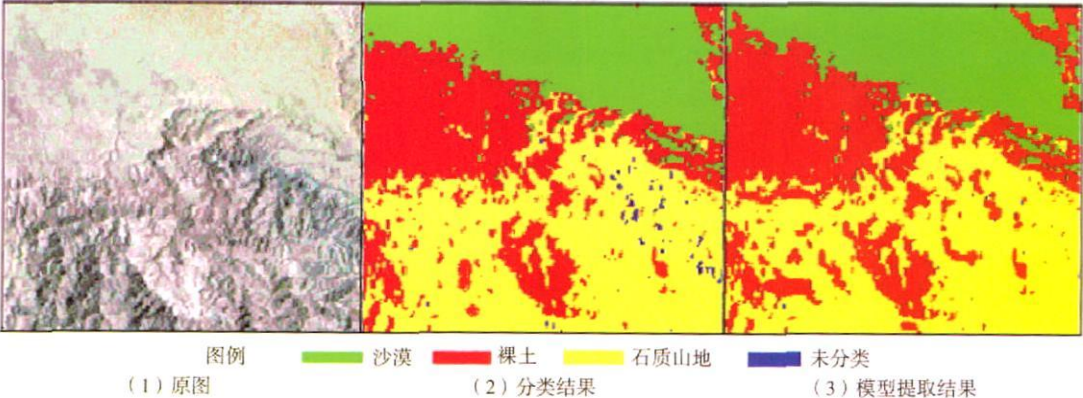


图 7 监督分类最大似然方法与模型提取的效果对比

Fig. 7 The analyzing result difference between maximum likelihood classification and model method

## 5 结论与展望

应用遥感数据提取下垫面物质组成信息是研究土壤侵蚀和水土保持的必由之路。通过构建模型可以从点尺度到像元尺度得到黄河黑山峡无植被区物质组成。应用该遥感模型,结合 DEM 和土壤侵蚀模型对于提高该区域的土壤侵蚀量计算精度和水保措施的实施具有重要意义。综合起来,本文得到以下结论:黄河黑山峡地区的无植被区的裸土、沙漠、石质山地从光谱的角度上分析是可分的;完成了实测光谱向像元的尺度扩展;针对石质山地地形变化的特点,将传统的光谱分析方法进行归一化处理,并与纹理信息结合构建下垫面提取模型;与传统的分类方法相比,经验证该模型的精度有所提高。

同时该模型也存在以下问题:操作起来比较复杂,需要经过层层排除的方法,需要经过对水体和植被掩膜处理,然后通过模型提取石质山地,最后分离裸土与沙漠;另外,一个问题为移植问题,该模型只是在黄河黑山峡地区证明是实用的,是否也适用于其他分辨率的遥感数据或东北、西南等大的区域没有进一步研究;

该模型综合了纹理信息与改进的传统光谱信息处理方法,为土壤侵蚀等领域存在的复杂下垫面信息难以提取的问题提供新的途径,同时也可以为其他地区下垫面物质组成信息方法提供借鉴作用。未来,模型与方法需要进一步改进,简化信息提取程序,便于操作以及模型的可移植、模型的空间尺度适用性研究将是下一步的重点。

## 参考文献:

- [1] 何书金. 中国西部典型地区土地利用变化对比分析. 地理研究, 2006, 25(1): 71~ 75
- [2] 程天文. 黄土高原中、小流域降雨径流变化与人类活动影响. 地理研究, 1997, 16(增刊): 104~ 108
- [3] 沈振荣, 张瑜芳. 水资源科学实验与研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 240~ 305
- [4] 张丽萍, 张登荣, 张锐波, 等. 小流域土壤水蚀强度生态预测模型及实验模拟. 自然灾害学报, 2007, 16(2): 51~ 55
- [5] 张光辉. 黄河流域降雨侵蚀力对全球变化的响应. 山地学报, 2005, 23(4): 420~ 424
- [6] 刘宝元, 谢云, 张科利. 土壤侵蚀预报模型. 北京: 中国科学技术出版社, 2001. 2~ 15
- [7] 胡刚, 吴永秋, 刘宝元, 等. 东北漫港黑土区切沟侵蚀发育特征. 地理学报, 2007, 62(11): 1165~ 1173
- [8] 王志强, 刘宝元, 海春兴. 土壤厚度对天然草地植被盖度和生物量的影响. 水土保持学报, 2007, 21(4): 164~ 167
- [9] Friedl M A. Relationships among remotely sensed data surface energy balance energy balance, and area-averaged fluxes over partially vegetated land surface. Journal Applied Meteorology, 1996, 35(11): 2091~ 2103
- [10] 凌美华, 刘振声. 流域地物识别的多谱段遥感数据分析. 地理研究, 1982, 1(3): 39~ 43
- [11] Anys H, Bonn F, Merzouk A. Remote sensing and GIS based mapping and modeling of water erosion and sediment yield in a semi-arid watershed of Morocco. Geocarto International, 1994, 9(1): 31~ 40
- [12] Wang G, Gertner G, Fang S, Anderson A B. Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM images and a slope map. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2003, 69(8), 889~ 898
- [13] Adams J B, Smith M O, Johnsen P E. Spectral mixture modeling: A new analysis of rock and soil types at the Viking Lander-1 site. Journal of Geophysical Research, 1986, 91(B8): 8098~ 8112
- [14] Langran K J. Potential for monitoring soil erosion features and soil erosion modelling components from remotely sensed data. Proceedings of IGARSS' 83. IEEE, San Francisco, CA. 1983 21~ 24
- [15] 赵英时. 遥感应用原理与方法. 北京: 科学出版社, 2003 25~ 26
- [16] 陈述彭, 赵英时. 遥感地学分析. 北京: 测绘科学出版社, 1990 55~ 67
- [17] Campbell James B. Introduction to Remote Sensing. New York: the Guilford Press, 1987: 3~ 7.
- [18] 李培军. 用 ASTER 图像和地统计学纹理进行岩性分类. 矿物岩石, 2004, 24(3): 116~ 120

- [19] H RM. Filtering for texture classification comparative study. IEEE, 1979, 67(5): 786~ 804
- [20] Yun Zhang. Optimization of building detection in satellite image by combining multi-spectral classification and texture filtering. ISPRS Journal of Photo Grammetry & Remote Sensing, 1999, 54: 50~ 60.
- [21] 吴均, 赵忠明. 利用基于小波的尺度共生矩阵进行纹理分析. 遥感学报, 2001, 5(2): 100~ 105.
- [22] 陈君颖, 田庆九. 高分辨率遥感植被分类研究. 遥感学报, 2007, 11(2): 221~ 226
- [23] 许妙忠, 余志惠. 高分辨率卫星影像中阴影的自动提取与处理. 测绘信息与工程, 2003, 28(1): 20~ 22

## Research on mass ingredient model based on remote sensing technology in non-vegetation area of Heishan Gorge basin

WANG Shu-dong, YANG Sheng-tian, WEN Zh-qun, ZENG Hong-juan, WANG Yu-juan

(State Key Laboratory of Remote Sensing Science; Beijing Key Laboratory for

Remote Sensing of Environment and Digital Cities; Center for Remote Sensing and GIS,

School of Geography; Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** It is very important to extract various kinds of underlying surfaces for soil erosion model because of various contributions of soil, vegetation, desert and rock under the same natural condition. Currently, traditional classification and information extraction methods based on remote sensing data have been widely applied in eco-hydrologic process field. But due to similarity and complexity of spectrums of soil, rock and desert, it was hard to distinguish soil, desert and rock in the same area. Rock land mountain, desert and soil mountain are widely distributed in the middle and upper reaches of Yellow River basin. In this paper, real spectrums of rock, soil and desert measured in lab using ASD (Analysis Spectrum Device) are analyzed, the result indicates that they could be well distinguished. On account of complex topographic changes and underlying surface roughness, spectrums from Landsat TM 5 become more complex and uncertain, but characteristics of surface texture of the rock land mountain are obvious and could be well differentiated from that of soil mountain and desert. For problem-solving of spectral complexity, normalized spectral index (NSI) is presented:  $NSI = (R_4 + R_3 + R_2 - 3 \times R_1) / (R_5 - R_1)$  ( $R_1, R_2, R_3, R_4$  and  $R_5$  individually refer to reflectance of the Landsat TM bands from 1 to 5). Then, the rock land mountain index (RMI) is presented according to the characteristics of normalized spectral index and texture:  $RMI = (R_4 + R_3 + R_2 - 3 \times R_1) / (R_5 - R_1) + R_1$  ( $R_1$  refers to homogeneity index of texture), and the result indicates that information extraction precision of rock land mountain is 82.7% through set of threshold. Finally, we analyze spectral normalized spectral information of desert and soil and establish desert-exposed soil difference model (DS-Def):  $DS-Def = (R_4 - R_1) / (R_5 - R_1) + R_1 + R_2$ , and the result indicates that desert information extraction precision is 73.1%, and that of exposed soil is 72.8%. The above results indicate that the information extraction precision is higher than that by methods of traditional classification.

**Key words:** heterogeneous underlying surface; spectrum and texture; remote sensing model; soil erosion