

# 多源地学信息在土地荒漠化 遥感分类中的应用研究

杜明义<sup>1,2)</sup> 武文波<sup>2)</sup> 郭达志<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(中国矿业大学资源系, 北京 100083) <sup>2)</sup>(辽宁工程技术大学测量工程系, 阜新 123000)

**摘要** 土地荒漠化是当今全球面临的重大环境问题之一, 它的发生、发展及其逆转是气候、环境和人类社会经济活动综合作用的结果。荒漠化土地分类是土地荒漠化研究中至关重要的一个环节, 由于地形粗糙度和植被覆盖率对土地荒漠化具有重要的影响, 但遥感图象很难对地表地形粗糙度进行定量描述, 因此引入了数字高程模型(DEM)对研究区地形粗糙度进行表达和采用植被指数(NDVI)对地面植被覆盖率进行描述, 并对由DEM生成的地面坡度(SLOPE)图象、植被指数图象与原始遥感图象进行了信息融合, 从而大大丰富了遥感图象的荒漠化信息。通过对融合图象的 $n$ -维散度分析, 不同类型、不同程度的土地荒漠化样本的分离度大幅度提高, 分类结果也证明, 信息融合可大大提高分类精度。

**关键词** NDVI DEM 融合 分类 土地荒漠化

**中图法分类号:** TP79;S157 TP751 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2002)07-0740-04

## Research on Multi-Source Geographic Information Based Classification of Desertification

DU Ming-yi<sup>1,2)</sup>, WU Wen-bo<sup>1)</sup>, GUO Da-zhi<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(Resource Engineering Department, China University of Mine and Technology, Beijing 100083)

<sup>2)</sup>(Surveying Engineering Department, Liaoning Technical University, Fuxin 123000)

**Abstract** Desertification is one of the most serious environment problems in the world today. The generation, development and reversion of desertification are caused by the results of comprehensive influences from the climatic and environmental change, and human activities. The classification of desertification is one of the key steps in desertification research. Terrain roughness and vegetation growth are important influence factors of desertification. But it is very difficult to describe the terrain roughness in remote sensing image. In this thesis digital elevation model (DEM) was used to express the Terrain roughness of research area and normalized difference vegetation index (NDVI) were used to describe the vegetation growth. Terrain slope (SLOPE) image (produced by DEM) and NDVI image (produced by TM image) were used to fuse with original TM image. The fusion image greatly enriched the desertification information. According to  $n$ -dimension separation analysis to fusion image, the separation in templates of different kinds and degrees of desertification was increased greatly. The classification result shows that the accurate of classification was greatly improved through information fusion.

**Keywords** Normalized difference vegetation index, Digital elevation model, Fusion, Classification, Desertification

## 0 引言

荒漠化土地分类是土地荒漠化研究中至关重要的一个环节。长期以来, 有关荒漠化分类指标体系的

理论研究虽然较多, 但落实到具体分类时, 由于指标的定性描述多于定量表达, 且即使是可量化的指标也没有一个统一的量化标准, 因此致使荒漠化土地分类精度低, 甚至对同一地区, 其分类结果也可能千差万别。遥感图象包含极其丰富的荒漠化信息, 如何

基金项目: 国家自然科学基金项目(49871069); 辽宁省自然科学基金项目

收稿日期: 2001-05-15; 改回日期: 2001-10-15

准确地利用这些信息来实现荒漠化土地分类,以提高分类精度,是荒漠化研究的一个关键问题。鉴于地形粗糙度和植被覆盖率对土地荒漠化具有重要的影响,本文引入数字高程模型和植被指数,并与原始遥感图象进行了信息融合,从而大大丰富了遥感图象的荒漠化信息,为利用遥感图象进行荒漠化土地分类提供了信息保证。

## 1 NDVI 的提取与分析

由于地面植被覆盖率是影响土地荒漠化的一个极其重要的指标<sup>[1,2]</sup>,因此,利用遥感图象提取区域植被信息是土地荒漠化研究的一个重要手段。由于植被叶绿素在  $0.69\mu\text{m}$  处具有强吸收特征,因此通过红外与近红外波段反射率的比值或线性组合可实现对植被信息的表达,这些信息包括植被叶面积指数、植被覆盖度、生物量和植物种类等。植被指数有许多不同的表达方式,其中,归一化植被指数(NDVI)被广泛应用于植被覆盖的定量研究。NDVI的计算公式为( $nir$  为近红外波段, $red$  为红外波段, $ch3$ 、 $ch4$  为 TM 的第 3 和第 4 波段):

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (1)$$

对于 TM 图象

$$NDVI = \frac{\rho_{ch4} - \rho_{ch3}}{\rho_{ch4} + \rho_{ch3}} \quad (2)$$

图版 1 图 1 为一幅辽西北阜新地区的 NDVI 影像图,从图中可见,研究区西部阜新盆地边缘,植被盖度较高,这一带正是低山丘陵区,人为破坏程度相对较低,是主要的林牧业区;盆地中央是阜新市城区,主要用地类型是居民地和工业用地,再加上开采业在本区工业中所占比重较大,直接影响市区及周边地区的植被覆盖率;东北部的狭长地带,由于地形平坦,虽然也属于林牧业区,但人为作用影响较大,且该区土壤以风沙土为主,故植被覆盖率相对较低;中东部地区是农业区,一方面由于卫片拍摄时间是 10 月末,这时北方秋收已完成,另一方面,由于该区土地盐渍化比较严重,有的区域甚至寸草不生,因此从 NDVI 影像图上看,这一带植被覆盖率很低。

## 2 数字高程模型(DEM)的构建

将地面高程作为辅助信息引入遥感图象分类

中,是提高遥感分类精度的有效措施之一<sup>[4]</sup>。由于地形起伏的影响,致使地物的光谱特征发生变化,如位于不同坡面上的同类地物在图象上可能表现为不同的光谱响应特性,而位于不同坡面上的不同类型地物在图象上有可能表现为相同的光谱响应特性,另外,由于不同地物的生长地域,往往受到海拔高度、坡度、坡向等因素的制约,尤其是在荒漠化土地分类中,不同的荒漠化类型,其发生和发展都与地形条件具有密切的关系,比如水蚀荒漠化(水土流失)一般发生在山地或丘陵地区,其受地面坡度的影响很大,而盐渍荒漠化主要发生在低洼易涝的地区,因此,如果在分类过程中忽略高程因素的影响,必然会影响分类结果的准确性。

DEM 实质上是地形的一个数学模型,只不过是人们为了简化运算,将其离散化而形成常用的 GRID 或 TIN。从这个意义上讲,可将 DEM 看作是一个或多个函数的和,而利用这个或这些函数的和就可以推导出许多地形因子<sup>[9]</sup>,如果对函数求一阶导数,则可求得坡度和坡向。地面某点的坡度是表示地表面在该点倾斜程度的一个量,它是一个既有大小,又有方向的矢量,其模等于地表曲面函数在该点的切平面与水平面夹角的正切,其方向等于在该切平面上沿最大倾斜方向的某一矢量在水平面上的投影方向,亦即坡向。

自从 DEM 理论形成以来,人们就对计算坡度的方法进行了大量的研究和试验,其计算方法主要有四块法、空间矢量分析法、拟合平面法、拟合曲面法和直接解法,其中,拟合曲面法是解求坡度的最佳方法,它采用二次曲面,即  $3 \times 3$  的窗口(如图 1 所示,每个窗口中心为一个高程点)来求解,点  $e$  坡度的模  $S$  和坡向的模  $A$  为

$$S = \tan \sqrt{S_{WE}^2 + S_{SN}^2} \quad (3)$$

$$A = S_{SN}/S_{WE} \quad (4)$$

$$S_{WE} = \frac{e_1 - e_3}{2 \times l} \quad (5)$$

$$S_{SN} = \frac{e_4 - e_2}{2 \times l} \quad (6)$$

其中,WE 和 SN 表示东西和南北方向, $l$  为网格单元边长, $e_1 \sim e_4$  为  $3 \times 3$  网格 4 个点高程(图 1)。

为了简化计算工作量,在本次研究中,采用国家资源环境数据库中  $1:100$  万比例尺的数字高程模型(DEM),利用 ARC/INFO 裁减生成研究区  $1:100$  万 DEM。为了与 TM 图象严格配准,首先采



图1 3×3的窗口

用线性内插的方法来生成 30m×30m 间隔的 DEM, 然后采用高斯-克吕格坐标系对其进行投影变换, 将其转换为与 TM 图象同一分辨率的栅格图象(如图版 1 图 2 所示), 并在此基础上进行地形分析, 最后计算生成的地面坡度图象如图版 1 图 3 所示。

### 3 异源数据的融合

融合(Fusion)是指采集并集成各种信息源、多媒体和多格式信息, 从而生成完整、准确、及时和有效的综合信息的过程。由于信息融合技术是研究如何加工、协同利用多源信息, 并使不同形式的信息互相补充, 以获得对同一事物或目标更客观、更本质认识的信息综合处理技术。因此, 它比直接从各信息源

得到的信息更简洁、更少冗余、更有用途。

为了在荒漠化分类中, 能方便地综合地形、植被覆盖信息, 同时避免多次重复分类, 本文通过对不同类型土地荒漠化影响因素进行综合分析, 将异源数据(坡度的模  $S$ 、NDVI 和 TM 6 个波段信息)在同一坐标系统和相同分辨率下进行融合<sup>[4]</sup>, 图版 1 图 4 为由坡度的模  $S$ 、NDVI 与 TM 第 5 波段数据合成的图象。

信息融合后就综合了 DEM、NDVI 和 TM 6 个波段的信息。从图版 1 图 4 可以看出, 在研究区的西部, 随着地形高度的增加, 植被覆盖率也明显提高, 在图象上显示为绿色、品红和黄色; 在研究区的东南部, 由于地形低洼, 植被覆盖率较低, 是盐渍荒漠化发生和发展的主要区域, 在图象上显示为深蓝色; 而在研究区北部丘陵地区, 当植被覆盖率较高时, 在图象上呈现砖红色, 其他浅蓝色区域则是风蚀荒漠化发生和发展的主要区域。

为了更有效地进行荒漠化遥感分类, 提高荒漠化解译精度, 还对所选取的训练样本(表 1)的合理性进行了检验, 并剔除容易引起误判误分的样本, 使最终样本间达到尽可能高的分离度。

表 1 主要土地类型样本及其遥感解译地貌划分依据

| 0 级地类  | 1 级地类 | 2 级地类 | 地貌划分依据                                | 类型代码 |
|--------|-------|-------|---------------------------------------|------|
| 荒漠化土地  | 风蚀荒漠化 | 轻度荒漠化 | 固定沙地, 植被盖度 30%~60%                    | 111  |
|        |       | 中度荒漠化 | 半固定沙地, 植被盖度 10%~30%                   | 112  |
|        |       | 重度荒漠化 | 流动、半流动沙地, 植被盖度 < 10%                  | 113  |
|        | 水蚀荒漠化 | 轻度荒漠化 | 沟壑密度 0.1~2.0, 坡度 2°~6°, 植被盖度 > 50%    | 121  |
|        |       | 中度荒漠化 | 沟壑密度 2.0~4.0, 坡度 6°~15°, 植被盖度 30%~50% | 122  |
|        |       | 重度荒漠化 | 沟壑密度 > 4.0, 地面坡度 > 15°, 植被盖度 < 30%    | 123  |
|        | 盐渍荒漠化 | 轻度荒漠化 | 对农作物和植被影响不大                           | 131  |
|        |       | 中度荒漠化 | 多数作物仍可生长, 但对产量影响明显                    | 132  |
|        |       | 重度荒漠化 | 地表结霜, 除个别盐生植物外, 农作物无法生长               | 133  |
| 非荒漠化土地 | 水域    | 水库、湖泊 | 自然形状                                  | 211  |
|        |       | 水田    | 田字形状                                  | 221  |
|        | 旱地    | 旱地    | 长方形                                   | 222  |
|        |       | 菜地    | 长方形                                   | 223  |
|        |       | 林地    | 乔木、灌木组成的林地                            | 231  |
|        | 农田    | 草地    | 种植牧草的土地(天然或人工草地)                      | 241  |
|        |       | 居民地   |                                       | 251  |

样本之间的分离度可以通过  $n$  维散度分析直观地进行判别。如果  $m$  个样本在  $n$  维空间(对 TM 图象而言,  $n=6$ )的离散度越大, 则可分性就越好; 反之, 若样本间相互包含, 则可分性就差, 分类精度也就低。本文利用 TM 的 6 个波段数据(6 维空间)和融合后的 8 个波段数据(8 维空间), 进行了不同类

型(风蚀、水蚀和盐渍化)、不同等级(轻度、中度和重度)荒漠化的 9 个样本的  $n$  维散度分析, 分析结果如图版 1 图 5 和图 6 所示(不同色调所代表的荒漠化类型可参见图版 1 图 7 的图例), 可见多源信息的融合可大大提高样本间的可分离度。

### 4 多源地学信息土地荒漠化遥感分类

#### 4.1 荒漠化分类指标体系

本文土地荒漠化分类采用了综合景观类指标,而荒漠化程度则采用传统的“三分法”,即“重度、中度和轻度荒漠化”。针对研究区特定地理环境下的土地荒漠化演变模式和规律,为了有效地进行遥感信息提取,对荒漠化土地类型按照地貌进行了划分(如表 1 所示)。同时建立了 DEM、NDVI 与荒漠化等级的对应量化关系(如表 2 所示)。

表 2 DEM、NDVI 与荒漠化等级的对应量化关系

| 盐渍荒漠化等级 | NDVI        | 水蚀荒漠化等级 | 地面坡度   |
|---------|-------------|---------|--------|
| 轻度盐渍荒漠化 | > -0.05     | 轻度水蚀荒漠化 | 2°~6°  |
| 中度盐渍荒漠化 | -0.15~-0.05 | 中度水蚀荒漠化 | 6°~15° |
| 重度盐渍荒漠化 | < -0.15     | 重度水蚀荒漠化 | >15°   |

#### 4.2 多源地学信息土地荒漠化遥感分类及精度分析

本文土地荒漠化分类采用基于径向基函数的神经网络分类模型<sup>[5,6]</sup>,并利用融合后影像作为 ANN 模型的输入层,首先选择 1000 个中间结点,然后将荒漠化和非荒漠化土地类型共 16 个样本带入模型进行学习 and 训练,1999 年分类结果如图版 1 图 7 所示。从图中可以看出,风蚀荒漠化主要分布于研究区的北部,呈条带状分布;水蚀荒漠化主要分布于研究区的西部低山丘陵地区;而盐渍荒漠化主要分布在研究区东南部低洼地区。经过统计分析,根据分类结果的混淆矩阵分析,确定平均分类精度为 94.4%。

利用混淆矩阵进行分类精度的评价,虽方法简单,并可在分类结束后立即完成,但这种评价方法取决于训练样本的质量,如果选取了一个错误的样本,必然导致一个错误的分类,这时的结果就不能反映真实的分类精度。

为了真实评定本次分类结果的精度,采用麦哲伦 315 型手持 GPS(定位精度为±15m),在研究区进行了随机抽样,在获得的 200 个抽样数据中,有 32 个抽样点参与了训练区的选取,利用剩余的 168 个抽样点对本次分类结果进行了检核,其结果见表 3。

表 3 随机抽样检查结果统计

| 样地类型    | 草地   | 林地  | 农田   | 城镇   | 风蚀荒漠化 |      |      | 水蚀荒漠化 |      | 盐渍荒漠化 |      |      |
|---------|------|-----|------|------|-------|------|------|-------|------|-------|------|------|
|         |      |     |      |      | 重     | 中    | 轻    | 中     | 轻    | 重     | 中    | 轻    |
| 抽样点数    | 13   | 11  | 8    | 12   | 14    | 15   | 17   | 15    | 23   | 5     | 16   | 19   |
| 正确点数    | 12   | 11  | 7    | 11   | 14    | 14   | 15   | 14    | 20   | 5     | 13   | 16   |
| 错误点数    | 1    | 0   | 1    | 1    | 0     | 1    | 2    | 1     | 3    | 0     | 3    | 3    |
| 正确率 (%) | 92.3 | 100 | 87.5 | 91.7 | 100   | 93.3 | 88.2 | 93.3  | 86.9 | 100   | 81.2 | 84.2 |

通过与抽样结果比较,本次分类正确点数为 152,错误点数 16,平均分类精度为 90.5%。

### 5 结 论

荒漠化土地分类一直是荒漠化研究的瓶颈,长期以来,由于分类指标体系的不完善和信息获取手段的限制,因而遥感分类精度一直很难达到实际应用要求,鉴于地形地貌和植被覆盖率对土地荒漠化具有重要的影响,故本文引入了数字高程模型(DEM)和归一化植被指数(NDVI),并与原始遥感图象进行了信息融合,从而大大丰富了遥感图象的荒漠化信息,实际分类结果表明,由土地荒漠化训练样本的 n 维散度分析可见,该方法可大大提高样本的可分离度,通过实地抽样分析,分类精度达到 90%以上。

#### 参 考 文 献

- 1 沙占江,曾永年,马海州等. 遥感和 GIS 支持下的龙羊峡库区土地沙漠化动态研究[J]. 中国沙漠,2000,20(1):51~54.
- 2 张晓静. 基于 GIS 实现的中国土壤侵蚀背景数据库若干技术问题[J]. 水土保持学报,2000,20(1):48~50.
- 3 李志林,朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉:武汉测绘科技大学出版社,2000:140~141.
- 4 何国金,李克普,胡德永等. 多卫星遥感数据的信息融合:理论、方法与实践[J]. 中国图象图形学报,1999,4(9):744~749.
- 5 Paola J D, Schowengerdt R A. A review and analysis of back-propagation neural networks for classification of remotely-sensed multi-spectral imagery[J]. INT. J. Remote Sensing, 1995, 16:3033~3058.
- 6 Tan S, Tsoi A C, Back A et al. A new worst case training algorithm for RBF neural networks[A]. In: Proceedings of ICONIP'96[C], Hong Kong, 1996: 174~179.



杜明义 1963 年生,副教授,2001 年 6 月在中国矿业大学(北京校区)获工学博士学位,主要从事遥感图象处理与 GIS 研究。发表论文 40 余篇,出版专著 2 部。



武文波 1957 年生,教授,博士生导师,主要从事数据库理论与 GIS 研究。

郭达志 1939 年生,教授,博士生导师,主要从事“3S”集成理论研究。

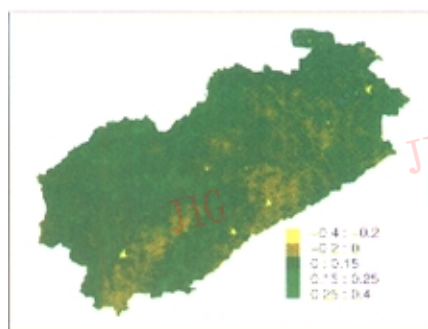


图1 研究区NDVI影像图

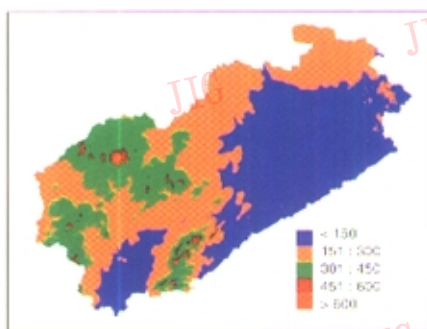


图2 DEM影像图

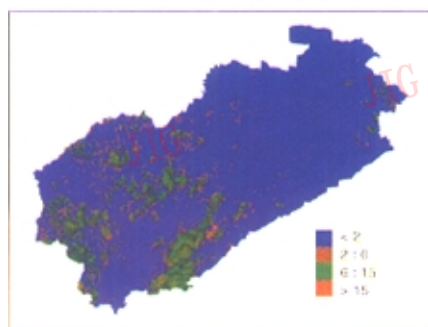


图3 地面坡度 (SLOPE) 影像图

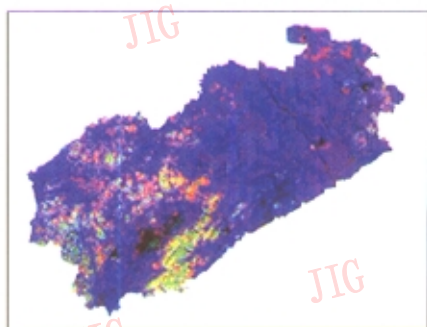


图4 SLOPE、NDVI与CH合成图

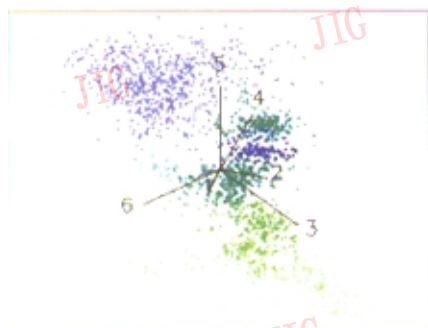


图5 原始TM图像6维散度分析

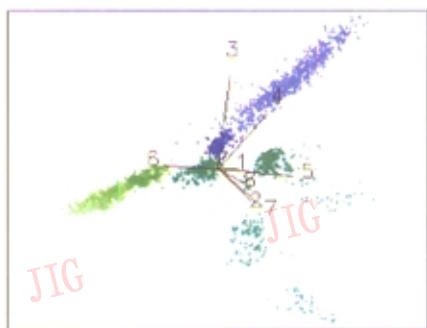


图6 融合后图像8维散度分析

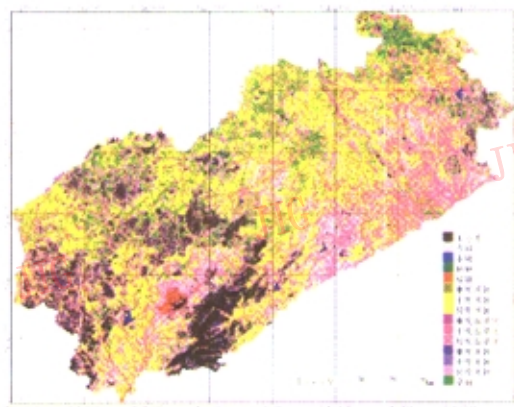


图7 1999年土地荒漠化遥感分类图