

# 基于多尺度分形特征的 ETM+影像耕地提取

董士伟<sup>1</sup>, 李宪海<sup>2</sup>, 李红<sup>1\*</sup>, 孙丹峰<sup>3</sup>, 张微微<sup>1</sup>, 周连第<sup>1</sup>

(1. 北京市农林科学院农业综合发展研究所, 北京 100097; 2. 国土资源部规划司, 北京 100812;  
3. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

**摘要:** 耕地是重要的农业资源, 如何利用经济可行的遥感技术快速准确地提取耕地已成为研究的热点和难点。以北京密云县为研究区, 建立了基于多尺度分形特征的 ETM+遥感影像提取耕地的方法: 将计算表面分形维的双层地毯法用于计算每一个像元的上分形信号和下分形信号, 并对上分形信号和下分形信号进行耕地特征分析; 选用下分形信号的第 3 尺度和第 4 尺度做差值处理进一步增强耕地信息, 利用简单的图像分割提取出密云县耕地信息的空间分布; 基于 ArcGIS 的空间分析利用密云县同期的土地利用现状图进行耕地信息提取精度评价。结果表明, 全县耕地总面积精度达到 91.0%, 全县耕地点位匹配精度达 71.8%; 耕地中的旱地提取精度较差, 而耕地中的水浇地和菜地提取精度较高, 点位匹配精度可以达到 86.6%。该方法可快速有效地提取出耕地信息, 也可供以后耕地信息的相关研究参考。

**关键词:** 分形, 信号分析, 特征提取, ETM+, 耕地信息, 空间分析

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.02.036

中图分类号: TP79, S127

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-02-0213-06

董士伟, 李宪海, 李红, 等. 基于多尺度分形特征的 ETM+影像耕地提取[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 213-218.

Dong Shiwei, Li Xianhai, Li Hong, et al. Extraction of cultivated land using ETM+ image based on multiscale fractal signature[J].

Transactions of the CSAE, 2011, 27(2): 213-218. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

随着中国城市化快速发展, 耕地资源越来越紧缺, 如何协调经济发展和粮食安全, 快速和准确获取耕地资源的变化特征, 非常关键。尽管遥感影像几何分辨率的提高, 满足了中国破碎耕地地块提取上的要求, 但多光谱信息不足限制了遥感影像耕地的快速自动提取, 如何通过原始影像进行图像增强或重点突出耕地地物特征, 已成为研究的热点和难点。目前地物特征变量的提取方法有很多, 可以大致分为 3 大类<sup>[1]</sup>。一是以地物反射波谱为基础, 设法寻求不同地物特定波段所对应的吸收特征或漂移(红移或蓝移)特征, 或通过最佳波段组合、差值、比值等来突出有用信息; 二是对反射波谱曲线进行求导、积分或二值化等处理选取特征值; 三是从统计学或信号分析的角度出发对光谱曲线进行不同的数学处理并选取合适的特征值。如目前用得较多的主成分分析方法、最小噪声分离(MNF)方法、分形分析方法和小波分析方法等。

国内外已有不少学者进行分形分析方法用于遥感影

像处理的研究<sup>[2-5]</sup>, 在土地利用中的研究和应用主要集中在不同利用类型分形维的计算和地物分形特征的描述及相关分析等<sup>[6-10]</sup>。遥感影像分形维的计算主要包括全局分形维和局部分形维<sup>[11-12]</sup>; 分形分析的应用主要是把分形维作为一个特征量对遥感影像进行分析<sup>[13]</sup>或是利用分形维研究影像的纹理特征, 用于影像分类或地物特征提取等<sup>[14]</sup>。与其它增强方法相比, 分形特征在一定范围内, 是独立于分辨率、视角而稳定存在的物质表示量, 具有广泛的一致性。利用这一特性可以进行目标地物的信息提取或分类。因此以北京密云县 ETM+遥感影像为例, 研究了基于双层地毯法的分形信号计算方法, 开展了耕地多尺度分形特征量化分析, 在此基础上与其它地类比较, 建立了区域耕地快速提取的方法, 为大区域耕地资源快速监测提供技术参考。

## 1 研究区概况

密云县位于北京市东北部, 燕山山脉南麓、华北平原北缘, 是平原与山区交接地带。该区域属于温带大陆性季风气候, 年平均降水量 660 mm。该区域位于 116°39'~117°30'E, 40°13'~40°48'N, 东西长约 69 km, 南北宽约 64 km, 全县总面积 2 229.45 km<sup>2</sup>, 占全市面积的 13%, 是北京市土地面积最大的区县。全县山区面积占全县面积的 79.5%, 平原面积占 11.8%, 水库水域占 8.7%。山地以林地利用为主, 密云河流众多, 其中密云水库蓄水量 43.75 亿 m<sup>3</sup>。研究区的耕地主要分布在西南部, 以水浇地、菜地和旱地为主。研究区地形复杂, 在耕地信息提取和遥感光谱图像分类研究中单纯采用监督分类或非监督分类难以获得理想的精度。

收到日期: 2010-10-10 修订日期: 2011-02-14

基金项目: 北京市财政局项目支持; “十一五”国家科技支撑项目(2006BAB15B05)

作者简介: 董士伟(1984—), 男, 山东泰安人, 主要从事遥感与 GIS 在农业资源中的应用研究。北京 北京市农林科学院农业综合发展研究所, 100097。Email: dshiwei2006@163.com

\*通信作者: 李红(1973—), 女, 山东海阳人, 博士, 研究员, 主要从事农业资源利用与管理研究。北京 北京市农林科学院农业综合发展研究所, 100097。Email: lihdsf@sina.com

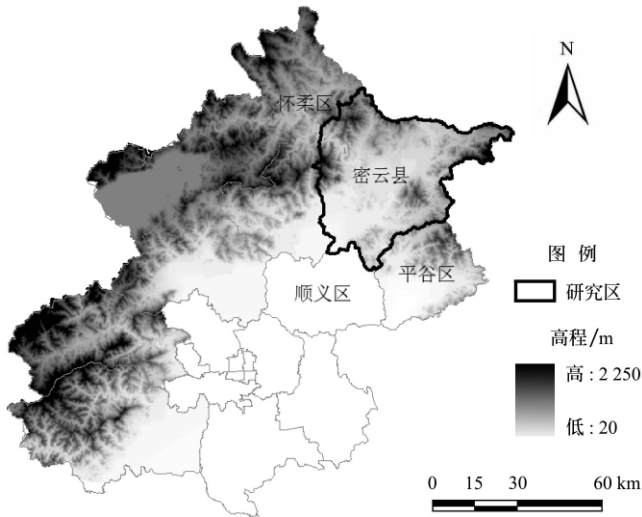


图1 研究区域  
Fig.1 Location of study area

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源与处理

采用 Landsat7 ETM+(enhanced thematic mapper plus) 123/032 1999-07-01 影像 L1T 数据产品, 该产品已经进行

了系统辐射校正和地面控制点几何校正, 并且通过 DEM 高程模型做了地形校正。空间分辨率除了热红外波段 60 m 和全色波段 15 m 外其余波段为 30 m。首先以 1:10 000 地形图为准对获取的数据产品进行几何校正, 平均误差控制在 0.5 个像元以内, 然后利用密云县边界矢量数据裁剪出密云县 ETM+影像。图 2a、b 为其原始波段 RGB-432 与下分形信号 RGB-234 合成影像。

### 2.2 多尺度分形特征的耕地提取方法

#### 2.2.1 多尺度分形特征的耕地提取方法

基于多尺度分形特征的耕地提取方法流程如图 3 所示。主要包括分形程序的实现与分形处理后的特征分析, 耕地特征尺度的选取与耕地提取的具体操作方法及提取结果的精度评价等 3 部分。分形程序和分形信号具体参考下一小节内容; 在 ENVI 软件中, 差值处理方法依据 Band Math 对特征尺度做差值运算处理, 图像分割采用简单的阈值分割方法; 只针对耕地地类进行精度评价, 一方面总面积精度评价是将分形提取的耕地总面积与同期土地利用现状图中耕地详查面积相比, 其中耕地总面积为提取耕地地类像元总数与像元面积的乘积。另一方面点位匹配精度评价是利用 ArcGIS 空间分析中的叠置分析将提取的耕地图斑边界与实际耕地矢量数据进行空间边界逐点匹配, 进行位置精度比较。

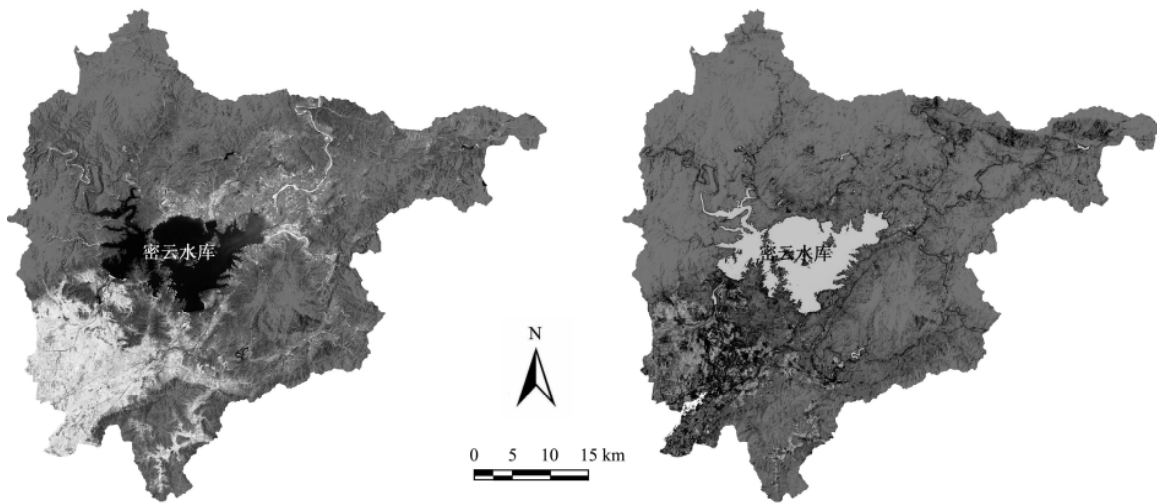


图2 原始波段 RGB-432 与下分形信号 RGB-234 合成影像  
Fig.2 Color composite images from original bands (a - RGB: 4, 3, 2) and down fractal signatures (b - RGB: 2, 3, 4)

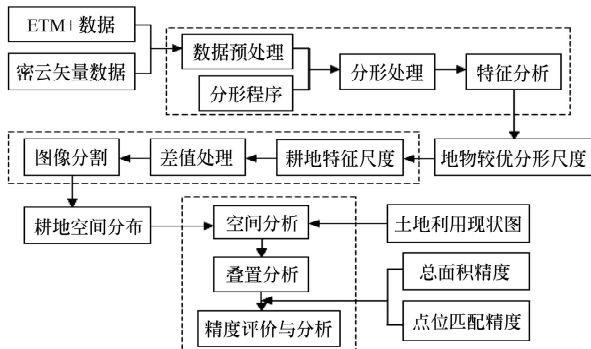


图3 耕地提取方法流程图  
Fig.3 Flow chart of extraction of cultivated land

#### 2.2.2 双层地毯分形方法的原理与实现

地毯方法计算遥感影像的空间分形维的基本原理是将遥感影像视作三维地形, 其灰度值对应地形的高度, 在距地表面尺度  $\epsilon$  的两侧铺盖一系列“毯子”, 根据不同尺度下毯子的表面积和毯子所围成的容积的关系来求取影像的空间分形维。二维曲线可以认为是一种特殊的三维地表面, 相应的二维曲线的长度对应于三维地形的表面积, 曲线围成的面积对应于三维地形围成的容积, 因此把该方法进行适当修改可以用于计算每一像元光谱曲线的分形维, 具体方法及公式参见文献[15]。

给定一条光谱曲线  $g(i)$ , 该曲线可以用宽度为  $2\epsilon$  的

两条曲线包围 ( $\varepsilon=1, 2, 3, \dots, n$ ),  $\varepsilon$  为测量尺度。所包围的曲线分别称为上曲线 ( $u_\varepsilon$ ) 和下曲线 ( $b_\varepsilon$ )

$$\begin{cases} u_\varepsilon(i) = \max\{u_{\varepsilon-1}(i)+1, \max_{|m-i|\leq 1} u_{\varepsilon-1}(i)\} \\ b_\varepsilon(i) = \max\{b_{\varepsilon-1}(i)-1, \min_{|m-i|\leq 1} b_{\varepsilon-1}(i)\} \end{cases} \quad (1)$$

式中  $m$  为与  $i$  邻近的离散点数值。

上曲线和下曲线所包围的多边形的面积为

$$s_\varepsilon(i) = \sum_i (u_\varepsilon(i) - b_\varepsilon(i)) \quad (2)$$

曲线的长度定义为

$$A(\varepsilon) = \frac{(s_\varepsilon - s_{\varepsilon-1})}{2} \quad (3)$$

则根据 Mandelbrot 的定义, 分形曲线的长度可以表示为

$$A(\varepsilon) = F\varepsilon^{2-D} \quad (4)$$

式中,  $F$  为常数;  $D$  为分形维。由于在某一尺度下所测量的曲线长度具有不对称性, 这种不对称性与曲线的特性有关。分别从“上面”和“下面”测量曲线。则式 (2) 可以分为两部分, 即

$$\begin{cases} s_\varepsilon^+(i) = \sum_i (u_\varepsilon(i) - g_\varepsilon(i)) \\ s_\varepsilon^-(i) = \sum_i (g_\varepsilon(i) - b_\varepsilon(i)) \end{cases} \quad (5)$$

相应的“上长度”  $A^+(\varepsilon)$  和“下长度”  $A^-(\varepsilon)$  分别为

$$\begin{cases} A^+(\varepsilon) = S_\varepsilon^+ - S_{\varepsilon-1}^+ \\ \quad = \sum_i (u_\varepsilon(i) - g_\varepsilon(i)) - \sum_i (u_{\varepsilon-1}(i) - g_{\varepsilon-1}(i)) \\ \quad = \sum_i (u_\varepsilon(i) - u_{\varepsilon-1}(i)) \\ A^-(\varepsilon) = S_\varepsilon^- - S_{\varepsilon-1}^- \\ \quad = \sum_i (g_\varepsilon(i) - b_\varepsilon(i)) - \sum_i (g_{\varepsilon-1}(i) - b_{\varepsilon-1}(i)) \\ \quad = \sum_i (b_{\varepsilon-1}(i) - b_\varepsilon(i)) \end{cases} \quad (6)$$

根据式 (6) 求得分形信号为上分形信号和下分形信号, 对应的也有上分形特征尺度和下分形特征尺度。

分形处理程序采用可视化交互数据语言 ENVI/IDL 编程实现<sup>[16]</sup>。测量尺度  $\varepsilon$  取不同的值经过分形处理以后可以获得不同的分形信号图像, 图像中像元的信号值反映了地物在不同分形尺度下光谱曲线变异的复杂程度。信号值越高, 光谱曲线变异的越复杂, 把信号值最高的分形信号图像称为地物的分形特征尺度。

### 3 结果与分析

#### 3.1 分形处理与耕地特征分析

利用分形处理程序对密云县 ETM+ 影像数据进行处理, 得到密云县的上分形信号和下分形信号图像。图 4 是不同地物上分形信号和下分形信号与尺度的关系, 图中的横坐标尺度  $n$  表示第  $n$  尺度分形信号图像, 纵坐标信号值表示光谱曲线变异的复杂程度。结合分形特征变化曲线对其进行特征分析得到以下几点认识:

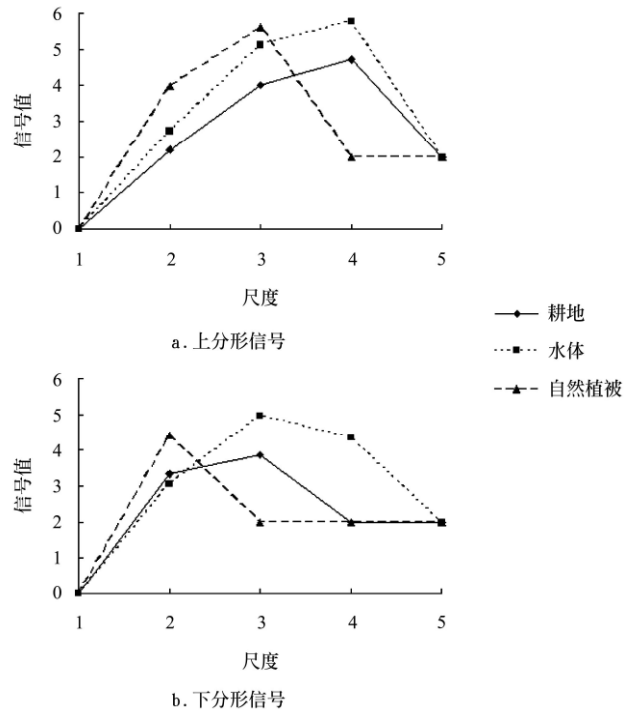


图 4 不同地物上、下分形信号随尺度的变化曲线  
Fig.4 Changes of up fractal signature and down fractal signature of different objects with multiscale

1) 分形信号可以更加有效的突出地物特征。从图 4 中的分形特征变化曲线可以看到耕地信息和水体信息主要在上分形第 4 尺度和下分形第 3 尺度突出 (图 5a), 自然植被信息主要在上分形第 3 尺度和下分形第 2 尺度突出。

2) 不论是上分形信号还是下分形信号, 对于不同地物类型在同一特征尺度其分形信号值不一样, 而同一地物在不同特征尺度的分形信号值也不一样。比如在图 4a 中上分形第 2 尺度分形信号值自然植被 > 水体 > 耕地, 上分形第 4 尺度水体 > 耕地 > 自然植被; 在图 4b 中下分形第 2 尺度分形信号值自然植被 > 耕地 > 水体, 下分形第 3 尺度水体 > 耕地 > 自然植被, 下分形第 4 尺度水体 > 耕地 = 自然植被。因此, 可以根据这一特征通过对不同尺度的分形信号影像进行彩色合成来突显不同的地物特征, 使不同地物的对比更加明显。如图 2b, 将下分形第 2、3、4 尺度信号赋予 R、G、B, 则在彩色合成影像上, 自然植被以下分形第 2 尺度信号赋色为主呈现红色调 R, 耕地主要受下分形第 3 尺度信号赋色 G 影响, 且兼有第 2 尺度信号赋色 R, 综合呈现 YG (黄绿), 水体同时受下分形第 3 尺度信号赋色 G 与第 4 尺度信号赋色 B 影响, 呈现 C (青)。

3) 对于本试验采用的 ETM+ 影像, 图 4a 上分形信号中耕地信息和水体信息的分形信号随尺度的变化趋势相似并且分形信号值差异不大, 而图 4b 下分形信号中二者的分形特征变化曲线差异比较明显, 更加有利于区分耕地信息与水体信息, 因此下分形信号比上分形信号更加有利于耕地信息的提取。

4) 选取耕地信息提取的较优分形尺度。结合分形信

号图像（比如图 2b 和图 5）及分形特征变化曲线（图 4）进行综合分析后发现，突出耕地信息的上分形第 4 尺度和下分形第 3 尺度与地物的含水量显著相关，耕地由于受到人工灌溉等人为因素的影响其含水率与自然植被相比较高，利用这一特性可以区分耕地和自然植被。通过不同尺度图像之间的差值处理可以进一步增强地物信

息，下分形第 2 尺度突出了自然植被信息并且耕地信息分形信号值与第 3 尺度差异不大，而第 3 尺度与第 4 尺度耕地信息分形信号值差异明显，因此选用下分形第 3 尺度和第 4 尺度进行耕地信息差值提取如图 5 所示。同理可以选取上分形第 3 尺度和第 4 尺度进行自然植被信息的提取。

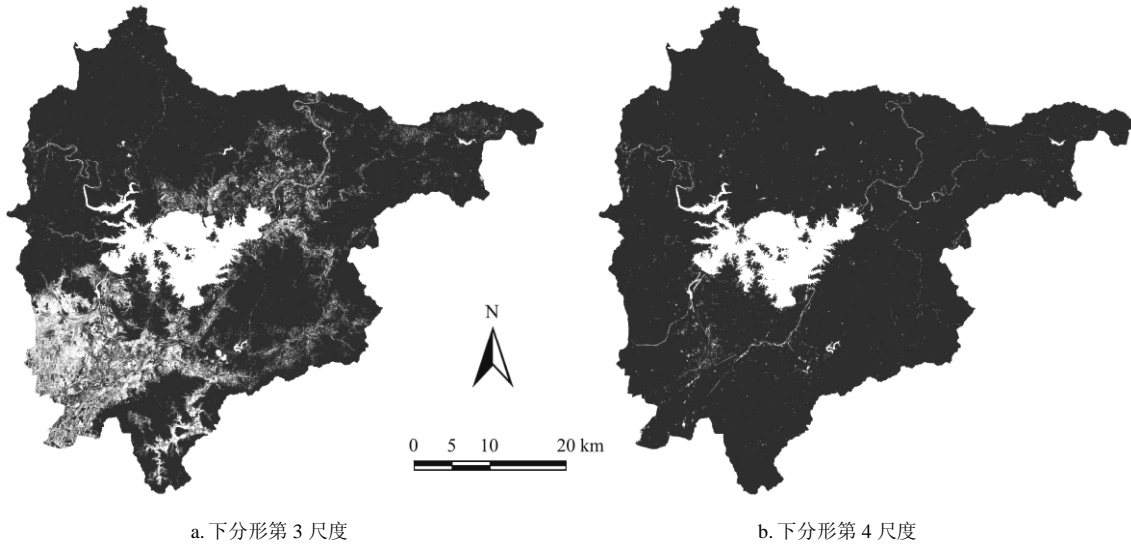


图 5 下分形第 3、4 尺度图像  
Fig.5 Images of third and fourth down fractal signature

### 3.2 耕地信息提取

根据对分形信号的特征分析可知，选用下分形信号的第 3 尺度和第 4 尺度进行耕地信息提取，如图 5 所示。对两个尺度做差值处理后可进一步增强耕地信息，如图

6a 所示，对差值图像分析后发现耕地信息的阈值范围在 0.7~2.0 之间，利用图像分割中简单的阈值分割方法提取出密云县耕地信息的空间分布（图 6b）并叠加在标准假彩影像上（绿色表示）如图 7a 所示。

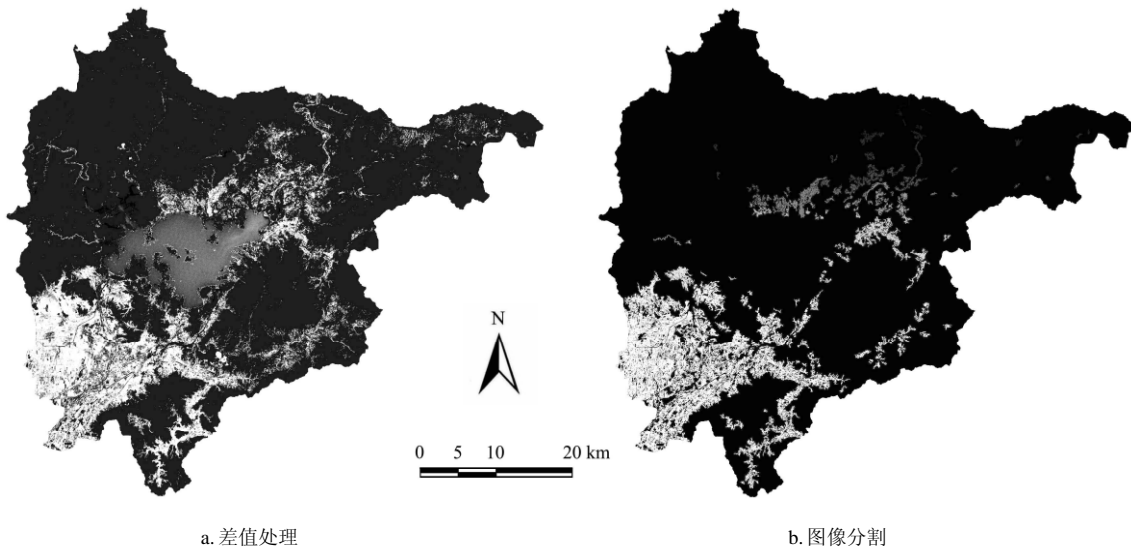


图 6 差值处理与图像分割  
Fig.6 Subtracting processing and image segmentation

### 3.3 精度评价

基于 ArcGIS 的空间分析利用密云县 2000 年的土地利用现状图从总面积精度和点位匹配精度两个方面进行耕地信息提取精度评价。图 7b 是密云县 2000 年耕地信息的空间分布（黄色部分），密云县实际耕地总面积为 27 591.8974 hm<sup>2</sup>，提取耕地（图 7a 的绿色部分）总面积

为 25 106.6699 hm<sup>2</sup>，计算出全县提取耕地总面积精度达到 91.0%；在 ArcGIS 软件中利用实际耕地信息和提取耕地信息进行叠置分析处理并计算出全县耕地点位匹配精度达 71.8%，对其进行分析后发现耕地中的旱地提取精度较差，而耕地中的水浇地和菜地提取精度较高，点位匹配精度可以达到 86.6%。原因在于耕地中的水浇地和菜地

由于受到人工灌溉等人为因素的干预其含水量较高, 在耕地特征分形尺度上反映比较明显。而大部分旱地处在林地之间, 受人为因素影响较少, 含水率较低, 分形特征更加趋向于自然植被, 因而在耕地特征分形尺度上提

取精度较差。研究结果表明该方法可以快速准确有效的提取出耕地信息并且提取效果较好, 为以后耕地信息的相关研究提供了参考方法。

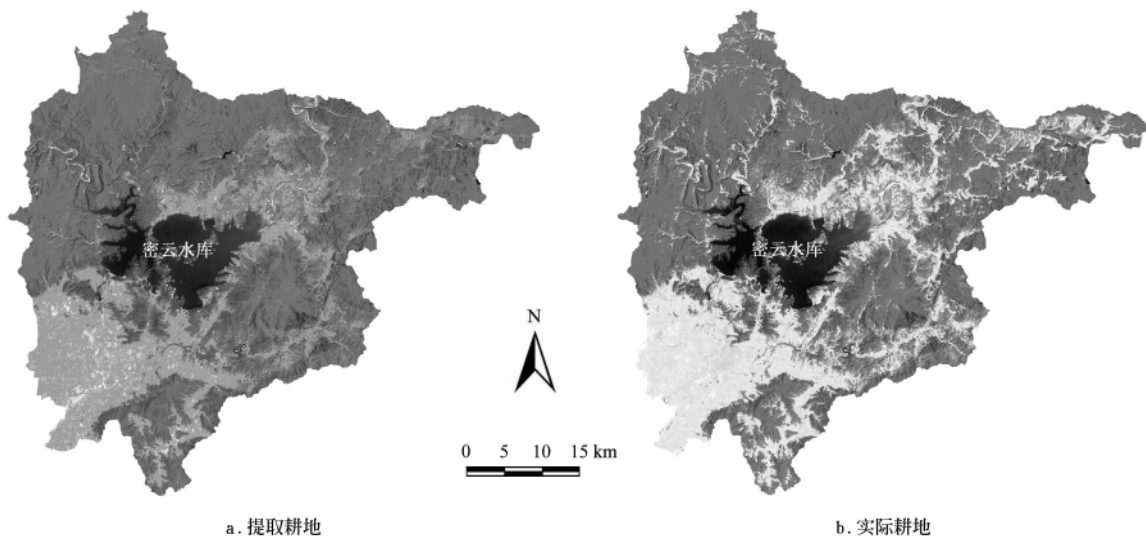


图 7 提取耕地与实际耕地的空间分布

Fig.7 Spatial distribution between extraction of cultivated land and actual land

## 4 结 论

1) 把多尺度分形特征处理方法应用于 ETM+遥感影像耕地特征提取, 结果表明分形信号在某些特定分形尺度选择性增强了目标地物特征, 通过分形特征影像差值处理和简单图像分割技术就可以提取出耕地地类。91.0%的总面积精度和 71.8%的点位匹配精度较好地体现了耕地与自然植被和水体分形特征信息的分异度。

2) 分形初始尺度选择对地物特征提取的影响和地物特征最佳分形提取尺度的确定仍需要深入研究。

3) 该方法因简单高效, 在土地利用/覆被变化监测及格局分析的相关研究中具有广泛的应用前景, 尤其适用于城市扩展快速监测和突发灾害耕地受损情况的快速提取。

尚需将进一步开展目标地物的分形信号特征与多光谱数据结合分类研究, 提高耕地提取精度。

### [参 考 文 献]

- [1] 董士伟, 周子勇, 文百红. 基于 EMD 与神经网络的油膜高光谱数据特征提取[J]. 遥感技术与应用, 2010, 25(2): 221—226.  
Dong Shiwei, Zhou Ziyong, Wen Baihong. Feature extraction of offshore oil slick from hyperspectral data based on EMD and neural network[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2010, 25(2): 221—226. (in Chinese with English abstract)
- [2] Sun W, Xu G, Gong P, et al. Fractal analysis of remotely sensed images: A review of methods and applications[J]. International Journal of Remote Sensing, 2006, 27(22): 4963—4990.
- [3] Peleg S, Naor J, Hartley R, et al. Multiple resolution texture

analysis and classification[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1984, PAMI-6 (4): 518—523.

- [4] 周子勇, 李朝阳. 高光谱遥感数据光谱曲线分析特征研究[J]. 中北大学学报: 自然科学版, 2005, 26(6): 451—454.  
Zhou Ziyong, Li Zhaoyang. Fractal feature of hyperspectral remote sensing spectral curves[J]. Journal of North University of China, 2005, 26(6): 451—454. (in Chinese with English abstract)
- [5] Parrinello T, Vaughan R A. Multifractal analysis and feature extraction in satellite imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(9): 1799—1825.
- [6] 沈中原, 李占斌, 武金慧, 等. 基于 GIS 的流域土地利用/土地覆被分形特征[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 63—67.  
Shen Zhongyuan, Li Zhanbin, Wu Jinhui, et al. Fractal characteristics of regional land use/land cover based on GIS technique[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 63—67. (in Chinese with English abstract)
- [7] 刘纯平, 陈宁强, 夏德深. 土地利用类型的分数维分析[J]. 遥感学报, 2003, 7(2): 136—141.  
Liu Chunping, Chen Ningqiang, Xia Deshen. Fractal dimension analysis of land use types[J]. Journal of Remote Sensing, 2003, 7(2): 136—141. (in Chinese with English abstract)
- [8] 王璐璐, 张征, 李坚, 等. 基于 GIS 的土地利用类型分形维数及稳定性研究: 以滇池流域为例[J]. 环境科学与管理, 2010, 35(3): 131—134.  
Wang Lulu, Zhang Zheng, Li Jian, et al. Study on fractal dimension and stability of land use types by GIS: A case application of Dianchi lake basin[J]. Environmental Science

- and Management, 2010, 35(3): 131—134. (in Chinese with English abstract)
- [9] 贾文臣, 贾香云, 李福印, 等. 威海市土地利用分形特征动态变化[J]. 地理科学进展, 2009, 28(2): 193—198. Jia Wenchen, Jia Xiangyun, Li Fuyin, et al. Dynamic changes of land use fractal characteristic in Weihai, China[J]. Progress in Geography, 2009, 28(2): 193—198. (in Chinese with English abstract)
- [10] 郭中领, 符素华, 王向亮, 等. 北京地区表层土壤分形特征研究[J]. 水土保持通报, 2010, 30(2): 154—158. Guo Zhongling, Fu Suhua, Wang Xiangliang, et al. Fractal dimension characteristic of soil particle-size distribution in Beijing region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2010, 30(2): 154—158. (in Chinese with English abstract)
- [11] Zhu J, Lin Z Y, Wang A S, et al. An approach to extracting fractal in remote sensing image[J]. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 2006, 11(3): 606—610.
- [12] 张涛, 杨志标, 黄爱民. 一种改进的遥感图像分形维数提取算法[J]. 军械工程学院学报, 2006, 18(5): 61—65. Zhang Tao, Yang Zhibiao, Huang Aimin. Improved extracting algorithm of fractal dimension of remote sensing image[J]. Journal of Ordnance Engineering College, 2006, 18(5): 61—65. (in Chinese with English abstract)
- [13] 苏红军, 杜培军, 盛业华. 一种基于分形维数的高光谱遥感波段选择算法研究[J]. 测绘通报, 2007(3): 23—26. Su Hongjun, Du Peijun, Sheng Yehua. A study of band selection algorithm of hyperspectral RS based on fractal dimensions[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2007(3): 23—26. (in Chinese with English abstract)
- [14] 王娟, 张军, 吕兆峰. 基于分形纹理的遥感影像土地覆盖的分类方法研究[J]. 测绘科学, 2008, 33(2): 15—17. Wang Juan, Zhang Jun, Lv Zhaofeng. Study on classification of land cover with remote sensing image based on fractal texture[J]. Science of Surveying and Mapping, 2008, 33(2): 15—17. (in Chinese with English abstract)
- [15] Dong P L. Fractal signatures for multiscale processing of hyperspectral image data[J]. Advances in Space Research, 2008, 41: 1733—1743.
- [16] 韩培友. IDL 可视化分析与应用[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2006: 24—112.

## Extraction of cultivated land using ETM+ image based on multiscale fractal signature

Dong Shiwei<sup>1</sup>, Li Xianhai<sup>2</sup>, Li Hong<sup>1\*</sup>, Sun Danfeng<sup>3</sup>, Zhang Weiwei<sup>1</sup>, Zhou Liandi<sup>1</sup>

(1. Institute of System Comprehensive Development, Beijing Academy of Agriculture and Forest Science, Beijing 100097, China;

2. Department of Planning, Ministry of Land and Resources, Beijing 100812, China;

3. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

**Abstract:** Cultivated land, as an important agricultural resource, being quickly and accurately extracted using remote sensing is the key step for its protection and sustainable use. An approach was presented based on multiscale fractal signature and image threshold segment to cultivated land extraction from ETM+ remote sensing images. The blanket method used for computing fractal dimension of surface was modified to calculate fractal dimension of curves including the “up” and “down” fractal signatures at each scale based on the spectral curve of each pixel. The computed fractal signatures of the cultivated land and other land covers at corresponding scale were analyzed and compared; The results showed that cultivated land was enhanced through differencing between the third and fourth down fractal signature, and its spatial distribution was further extracted using image segmentation. The segmentation area accuracy and point positioning accuracy were as high as 91.0% and 71.8%, respectively. The point positioning accuracy of the rainfed cultivated land was relatively low, while irrigated cultivated land and vegetable land were up to 86.6%. The method developed in the study can effectively extract cultivated land and provide a reference for further related researches.

**Key words:** fractals, signature analysis, feature extraction, ETM+, cultivated land information, spatial analysis

董士伟, 等. 基于多尺度分形特征的 ETM+ 影像耕地提取 (图 2、7)

Dong Shiwei, et al. Extraction of cultivated land using ETM+ image based on multiscale fractal signature (Figure 2, 7)

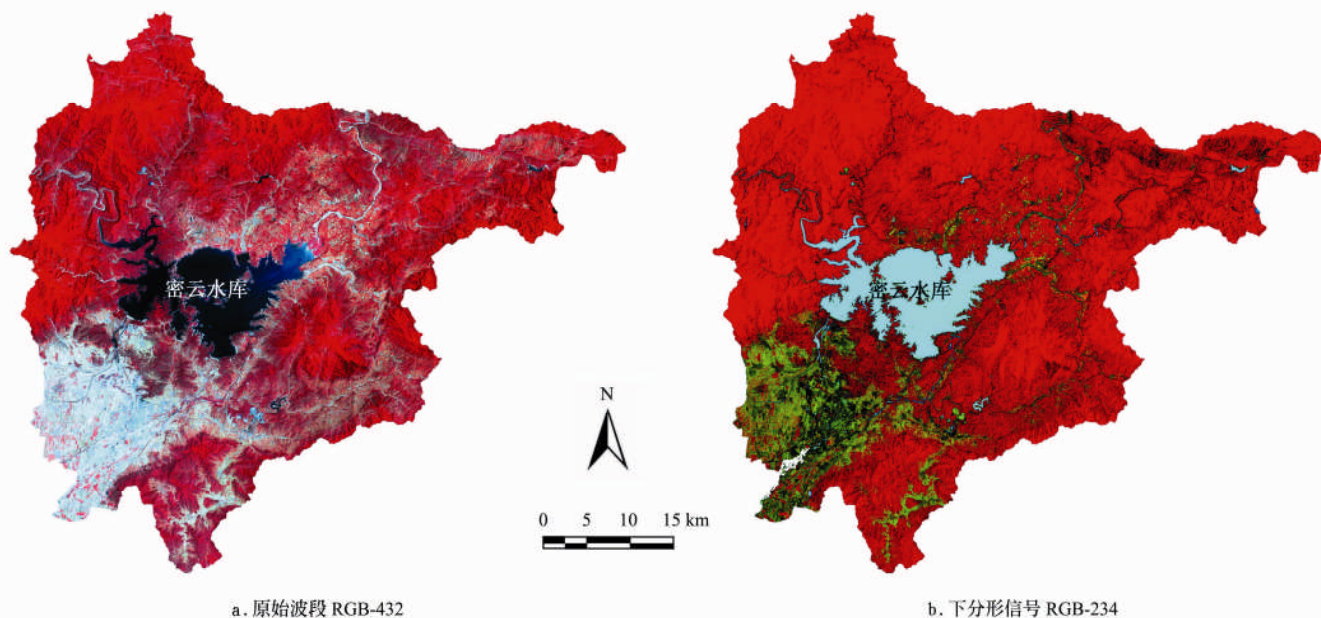


图 2 原始波段 RGB-432 与下分形信号 RGB-234 合成影像

Fig.2 Color composite images from original bands (a - RGB: 4, 3, 2) and down fractal signatures (b - RGB: 2, 3, 4)

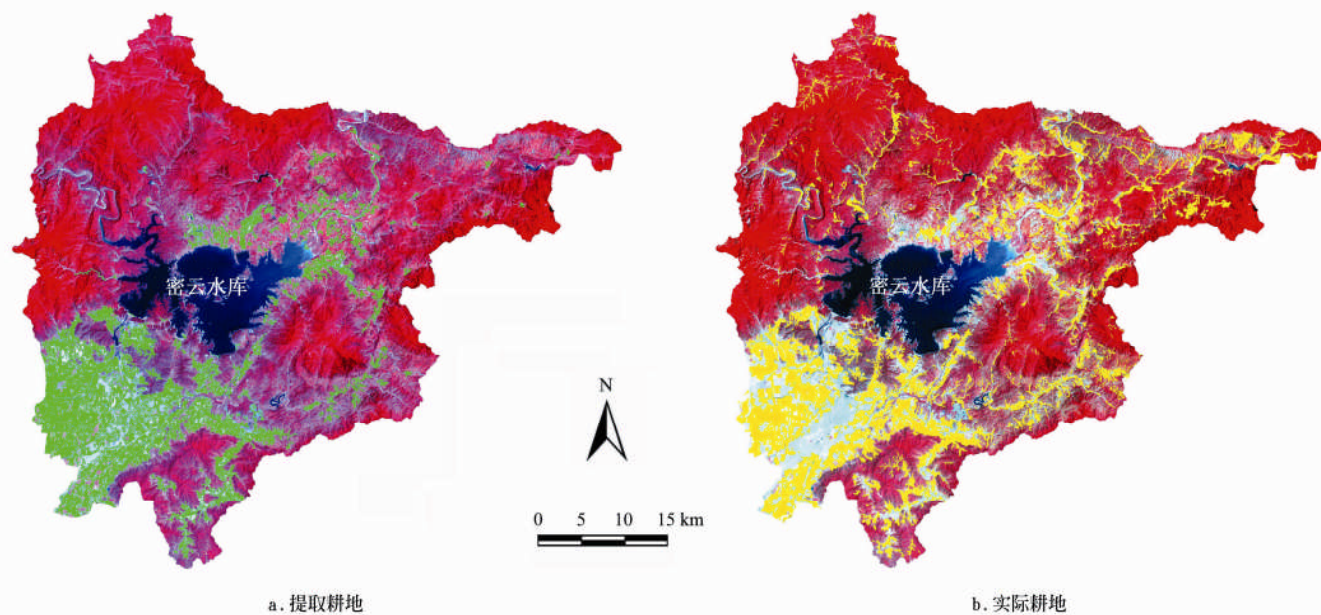


图 7 提取耕地与实际耕地的空间分布

Fig.7 Spatial distribution between extraction of cultivated land and actual land