

# 中尺度流域 NDVI 尺度转换研究

王琦<sup>1</sup>, 杨勤科<sup>1,2</sup>, 任宗萍<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710069)

**摘要:** 植被是影响水土流失最重要且最敏感的因素之一。为了更好地估算和监测区域水土流失变化, 首先必须在较高时空分辨率下分析植被的动态特征。利用直方图匹配原理, 以 SPOT/VEGETATION NDVI 影像为参照, 对基于 ETM 影像的 NDVI 数据进行变换, 得到逐月 30 m 分辨率的 NDVI 产品, 分析匹配前后图像的统计参数、直方图相似度和图像逼真度等。结果表明, 该变换结果是可靠的, 可为区域水土流失动态评价与监测提供植被数据支持。

**关键词:** NDVI; 直方图匹配; 时间尺度; 空间尺度; SPOT/VEGETATION; ETM

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2010)03-0096-04

中图分类号: S157

## Scaling of ETM-NDVI for Medium Watershed Area

WANG Qi<sup>1</sup>, YANG Qin-ke<sup>1,2</sup>, REN Zong-ping<sup>1</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of

Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China)

**Abstract:** Vegetation is one of the most important and most sensitive impacting factors of soil erosion. Vegetation information products that have high resolution in both time and space are needed to study dynamic changes of vegetation, for better understanding and monitoring of soil and water loss. A method is proposed to get high spatial and temporal resolution NDVI products, by matching the histogram of ETM NDVI (30 m) to that of SPOT/VEGETATION NDVI product (1 km, one scene every month). The estimated NDVI products (30 m, one scene per month) are analyzed based on several indicators such as statistical characteristics of image, histogram similarity, and image fidelity. Results from the research can be applied to dynamic evaluation and monitoring of regional soil and water loss.

**Keywords:** NDVI; histogram matching; spatial resolution; temporal resolution; SPOT/VEGETATION; ETM

植被是陆地生态系统的主体, 是影响水土流失最重要的因素之一<sup>[1-2]</sup>。黄秉维在编制黄河中游土壤侵蚀分区图时, 就以植被因素作为划分侵蚀微弱地区和侵蚀地区的依据<sup>[3]</sup>。在黄土地区, 不论坡面上的坡度如何, 倘若有很好的植物被覆, 就可以阻缓或防止水土流失的发生<sup>[2]</sup>。因此为了有效监测区域水土流失动态变化, 首先必须研究植被覆盖度的变化。Landsat 影像是目前最常用于监测植被动态变化的数据, 但是由于其时间分辨率较低, 数据代价昂贵, 较难用其获取植被的年内变化信息。相比之下, SPOT/VEGETATION 等数据<sup>[4]</sup>, 拥有较高的时间分辨率, 使其可很好地提供植被动态变化特征, 但由于其空间分辨率较低而难以满足区域水土流失调查和动态监

测的需求。因此如何有效整合不同分辨率数据, 同时拥有高时间、高空间分辨率的植被信息, 越来越受到人们的重视<sup>[5-6]</sup>。Acerbi-Junior 等人<sup>[7]</sup>利用小波变换融合高空间分辨率的 Landsat 影像和高时间分辨率的 MODIS 影像, 以满足高时间、高空间分辨率遥感影像的需求。Hansen 等人<sup>[8]</sup>为了监测刚果盆地的森林覆盖, 利用回归树融合 Landsat 和 MODIS 数据。万华伟等人<sup>[6]</sup>利用高空间分辨率的土地利用分类数据和 MODIS 数据结合, 得到高空间、高时间分辨率的 LAI。Gao 等人<sup>[9]</sup>建立了空间-时间自适应反射率融合模型(the spatial and temporal adaptive reflectance fusion model, 简称 STARFM), 该模型通过分析 MODIS 的时间频率与 Landsat 的空间和光

收稿日期: 2009-12-23

修回日期: 2010-01-24

资助项目: 黄河水利委员会项目“黄土丘陵三副区水土流失预测预报的区域模型研究”

作者简介: 王琦(1984—), 女(汉族), 湖南省怀化市人, 在读硕士, 主要研究方向为基于遥感和 GIS 的区域水土流失评价。E-mail: wangannqi@163.com。

通信作者: 杨勤科(1962—), 男(汉族), 陕西省陇县人, 博士, 研究员, 主要研究方向为基于遥感和 GIS 的区域水土流失评价。E-mail: qkyang@ms.iswc.ac.cn。

谱分辨率, 得到逐日 30 m 的影像。上述方法比较复杂, 而且小波变换和混合像元分解法都还在发展阶段, 难以在水土流失监测中推广。本文采用简单的直方图匹配公式, 以 SPOT/VEGETATION NDVI 为基准, 对 ETM 的 NDVI 数据进行变换, 获得逐月 30 m 的 NDVI 产品, 以期为区域尺度土壤侵蚀逐月的动态监测提供数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域与数据

本文以甘肃省天水市藉河水土保持生态工程示范区为研究区, 该区位于黄土丘陵沟壑第三副区, 总面积约为 1 800.46 km<sup>2</sup>。

本研究用数据主要包括: (1) 精纠正处理过的 2005 年 10 月 7 日 ETM 影像<sup>[10]</sup>, 投影为 Albers 投影, 中央经线 105°E, 标准纬线 27°N 和 47°N, 分辨率为 30 m; (2) 在 ANUDEM 下, 利用编辑修改过的 1: 5 万数字地形图生成 10 m 分辨率的 DEM 数据; (3) 从 SPOT/VEGETATION 官方网站 (<http://free.vgt.vito.be>) 免费下载的 2005 年 1—12 月 SPOT/VEGETATION NDVI 旬数据产品(以下标记为 SVG NDVI), 投影为 PLATE\_CARREE/Geographic(lat/lon), 分辨率 0.0089285714°(约为 1 km)。

### 1.2 数据预处理

对 SVG NDVI 影像进行投影变换以统一数据投影, 然后运用最大合成法<sup>[4]</sup> 获得各月的 SVG NDVI 影像, 并采用 3 次内插法将 SVG NDVI 影像重采样

到 30 m。ETM 影像的 NDVI 数据则根据公式 (1)<sup>[11]</sup> 求得, 并假设其代表 2005 年整个 10 月 ETM 的 NDVI 数据。为了统一数据值域, 据公式(2)<sup>[4]</sup> 将 SVG NDVI 影像的值转换到[-0.1, 1]; 将 ETM 影像小于-0.1 的 NDVI 值设定为-0.1<sup>[12]</sup>, 即值域为 [-0.1, 1]。

$$NDVI = (DN_{NIR} - DN_R) / (DN_{NIR} + DN_R) \quad (1)$$

$$NDVI = 0.0043 \times DN - 0.1 \quad (2)$$

式中: DN —— 影像的灰度值(0~255); DN<sub>NIR</sub> —— 近红外的灰度值; DN<sub>R</sub> —— 红波段的灰度值。

### 1.3 研究方法

1.3.1 尺度变换方法 直方图匹配是指将一幅图像通过灰度变换后, 使其具有特定直方图的方法<sup>[13]</sup>。本文以各月 SVG NDVI 数据为参照图像, 使 ETM 提取的 NDVI 数据通过变换与 SVG DNVI 尽可能地接近〔公式(3)〕。

$$y^i = \frac{\sigma_{SV}^i}{\sigma_{TM}^i} \times (x_{TM}^{10} - \bar{x}_{TM}^{10}) + \frac{\bar{x}_{SV}^i}{x_{TM}^{10}} \times \bar{x}_{TM}^{10} \quad (3)$$

式中: σ —— 方差。上标 i 表示月份, i = 1, 2, ..., 12, 下标 SV 表示 SVG NDVI 影像; 下标 TM 表示 ETM 影像的 NDVI 数据; x —— 已知影像。

为了弥补直方图对图像空间格局反映上的不足, 利用 DEM 根据海拔将图像划分为 8 个区(表 1), 根据土地利用图<sup>[10]</sup> 提取居民地和水域, 同时根据 SVG NDVI 的图像特征划分了 7 个区, 共 17 个变换区。在 ArcGIS 的 grid 模块下, 用公式(3) 对各区分别进行变换, 最后用 mosaic 命令对这 17 个区进行拼接。

表 1 根据海拔的分区方案

区号	1	4	5	6	7	8	9	10
高程范围/m	< 1 200	1 200~ 1 400	1 400~ 1 600	1 600~ 1 800	1 800~ 2 000	2 000~ 2 200	2 200~ 2 400	≥ 2 400

1.3.2 结果分析方法 根据数字图像处理原理, 通过图像统计参数、直方图相似度和图像逼真度来分析匹配结果。包括: (1) 用均值、方差和变异系数 3 个指标分析数据的分布性质; (2) 直方图相似度, 是度量图像相似性的一个重要评价标准<sup>[4]</sup>。本文采用直方图相交法<sup>[15]</sup> 计算并比较图像之间的相似性〔公式(4)〕; (3) 图像逼真度, 是描述待对比图像是否存在较大误差的一个重要技术指标<sup>[15]</sup>。本文根据公式(5) 计算, 以逼真度是否大于 98% 作为处理前后图像的近似性度量<sup>[15]</sup>。

$$D(X, Y) = \sum_i \min(x_i, y_i) \quad (4)$$

$$S = \frac{\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} (I_{ij} \times I'_{ij})}{\left[ \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} I_{ij}^2 \right]} \quad (5)$$

式中: x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub> —— 两幅图像第 i 级 NDVI 值的出现频率, 0 ≤ D(X, Y) ≤ 1, 它的值越大图像越相似, 如果两

幅图像完全一致, 则 D(X, Y) = 1。式(5) 中, I<sub>ij</sub> 为 SVG NDVI 图像第 i 行 j 列像素的 NDVI 值, I'<sub>ij</sub> 为匹配后的 NDVI 图像第 i 行 j 列像素的 NDVI 值。

### 1.4 工作流程

基于 ETM 影像解译出的土地利用图<sup>[10]</sup>、DEM 和 SVG NDVI 影像的图像特征划分出 17 个不同类型区, 根据公式(3) 得到逐月 30 m 分辨率的 NDVI 数据(如图 1)。

## 2 结果与分析

### 2.1 变换结果的统计分析

2.1.1 两种影像的统计参数 对比 SVG NDVI 影像和匹配结果的统计参数(如图 2) 可见, 匹配前后数据的均值、方差和变异系数十分接近, 曲线几乎重合。

但是 10 月份 SVG NDVI 的均值明显高于 ETM 的 NDVI 影像, 其主要原因可能与 SVG NDVI 数据是每旬产品最大值的合成有关。

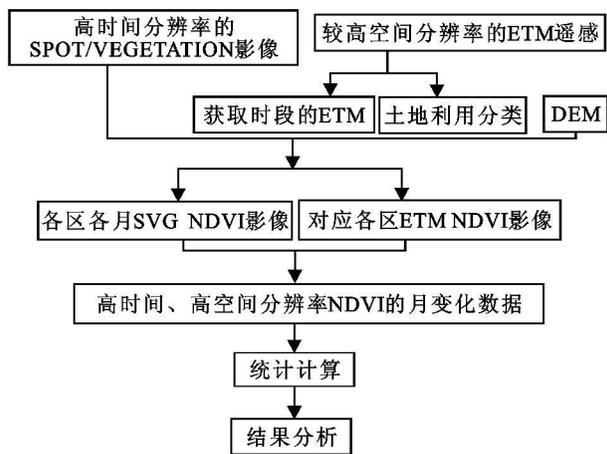


图 1 ETM NDVI 与 SVG NDVI 匹配技术流程

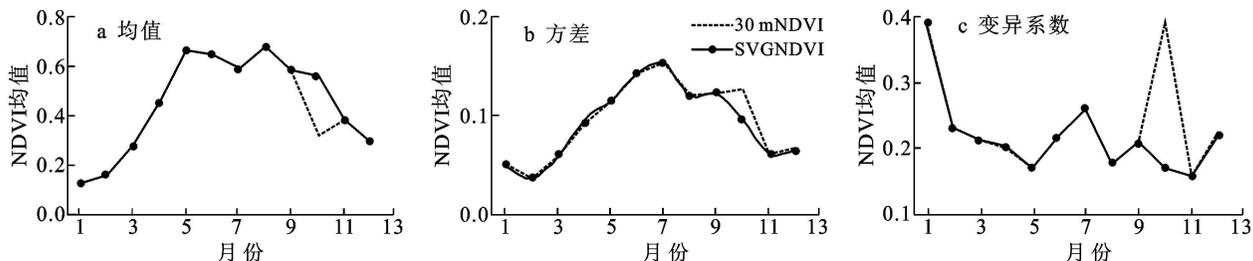


图 2 转换前后图像统计特征对比分析

表 2 直方图相交法分析匹配结果及图像逼真度计算结果

对比图像	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
相似度	88	90	87	81	80	81	78	82	82	22	91	86
逼真度	95	98	98	98	99	99	98	99	98	58	99	98

### 3 结论

(1) 本文利用直方图匹配法, 以高时间分辨率的 SVG NDVI 数据为参照, 对高空间分辨率的 ETM 的 NDVI 数据进行变换, 获得逐月 30 m 分辨率的 NDVI 影像。

(2) 运用图像统计参数、直方图相似度和图像逼真度 3 个参数从统计特征和图像格局两方面分析匹配效果。结果表明, 匹配结果与参照数据 SVG NDVI 十分相似, 可以认为直方图匹配法是有效的, 这将为中尺度流域植被动态监测以及水土流失模拟分析提供技术支持。

本文将直方图匹配法用于时序数据分析, 该方法操作简单, 对于水土保持监测工作者而言便于推广。

2.1.2 两种图像的直方图相似度 SVG NDVI 和匹配结果的直方图(图 3)表明, 各月匹配前后 2 种图像(除了 10 月)的频率曲线无论是取值还是形态都十分相似。直方图的相似度(表 2)表明, 除了 10 月, 其它月对应数据的直方图相似度大都大于 80%, 其中 2 月和 11 月匹配前后相似度达到 90%, 可见匹配结果图像与 SVG NDVI 图像具有高度的相似性。10 月份的直方图存在较大差异, 其原因可能与统计参数差异的原因相似。

### 2.2 变换前后图像的逼真度

SVG NDVI 和匹配结果的逼真度计算结果(表 2)表明, 只有 1 和 10 月份 2 组图像不能认为是逼真的, 其它月份的图像逼真度都在 98% 以上, 效果理想。而且对比分析匹配前后 2 组数据空间格局, 发现高低值分布的趋势十分相似(附图 1)。这 2 种图像 10 月份的逼真度特别低, 既可能与传感器的差异有关, 又可能与观测尺度有关<sup>[16]</sup>, 还可能是两者共同影响的结果。

但是实际上, 这 2 种数据尚有一定差异。首先本文采用的 SVG NDVI 数据是各月每旬数据的最大值, 而 ETM 的 NDVI 则是一个时间点上的数据; 其次, 两者来自不同传感器, 可能存在一些不同; 第三两者分辨率不同难免存在空间尺度效应。如何克服这些问题, 并使变换结果在水土流失评价和监测中得到应用, 均有待于进一步的研究。

致谢: 本文由中国科学院水利部水土保持研究所特聘外籍教授、澳大利亚 CSIRO 高级研究员 David Jupp 帮助设计变换公式, 西北大学城市与资源学系刘咏梅副教授指导图像处理, 牛亮同学帮助进行直方图相似度指数计算, 谨此一并致谢。

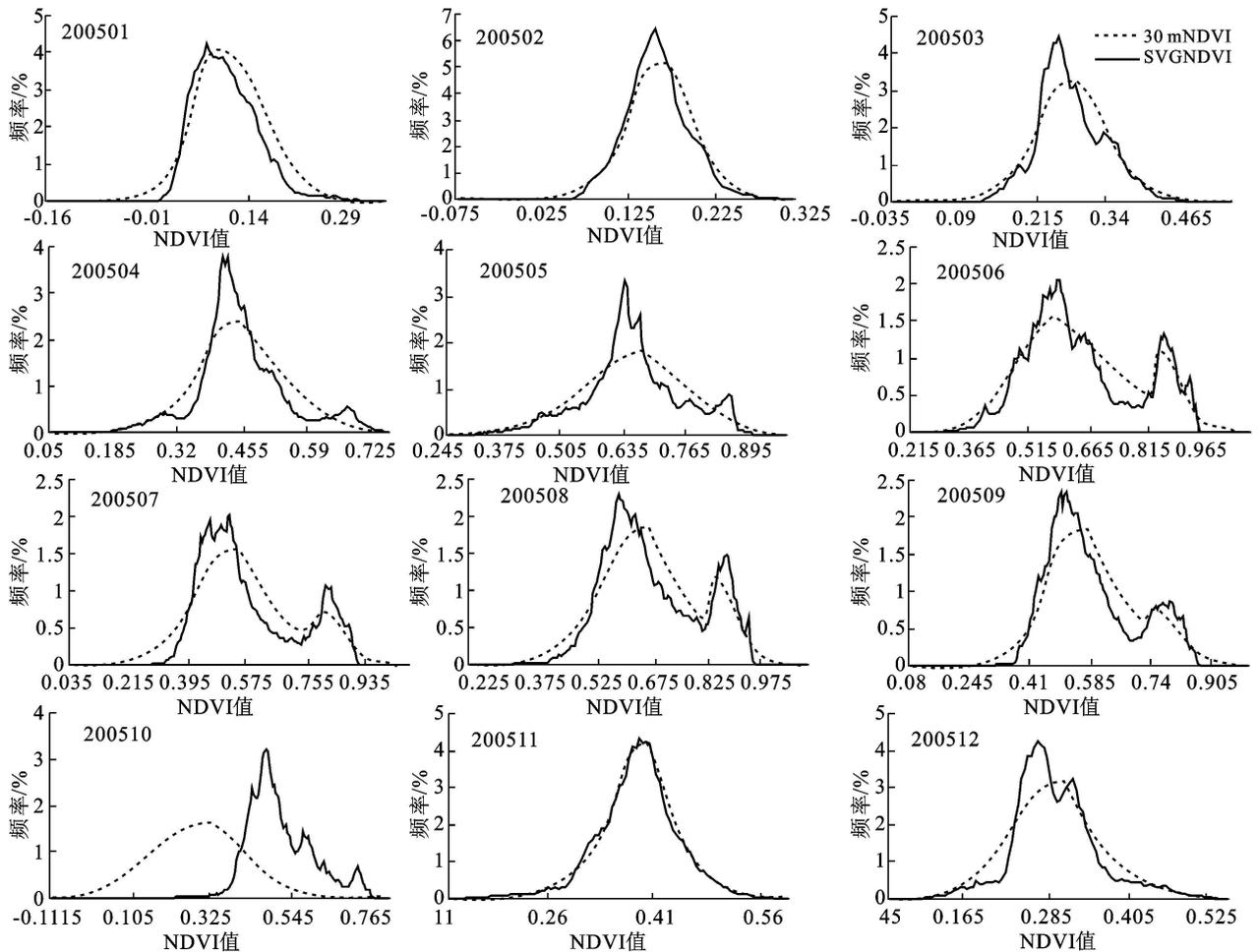
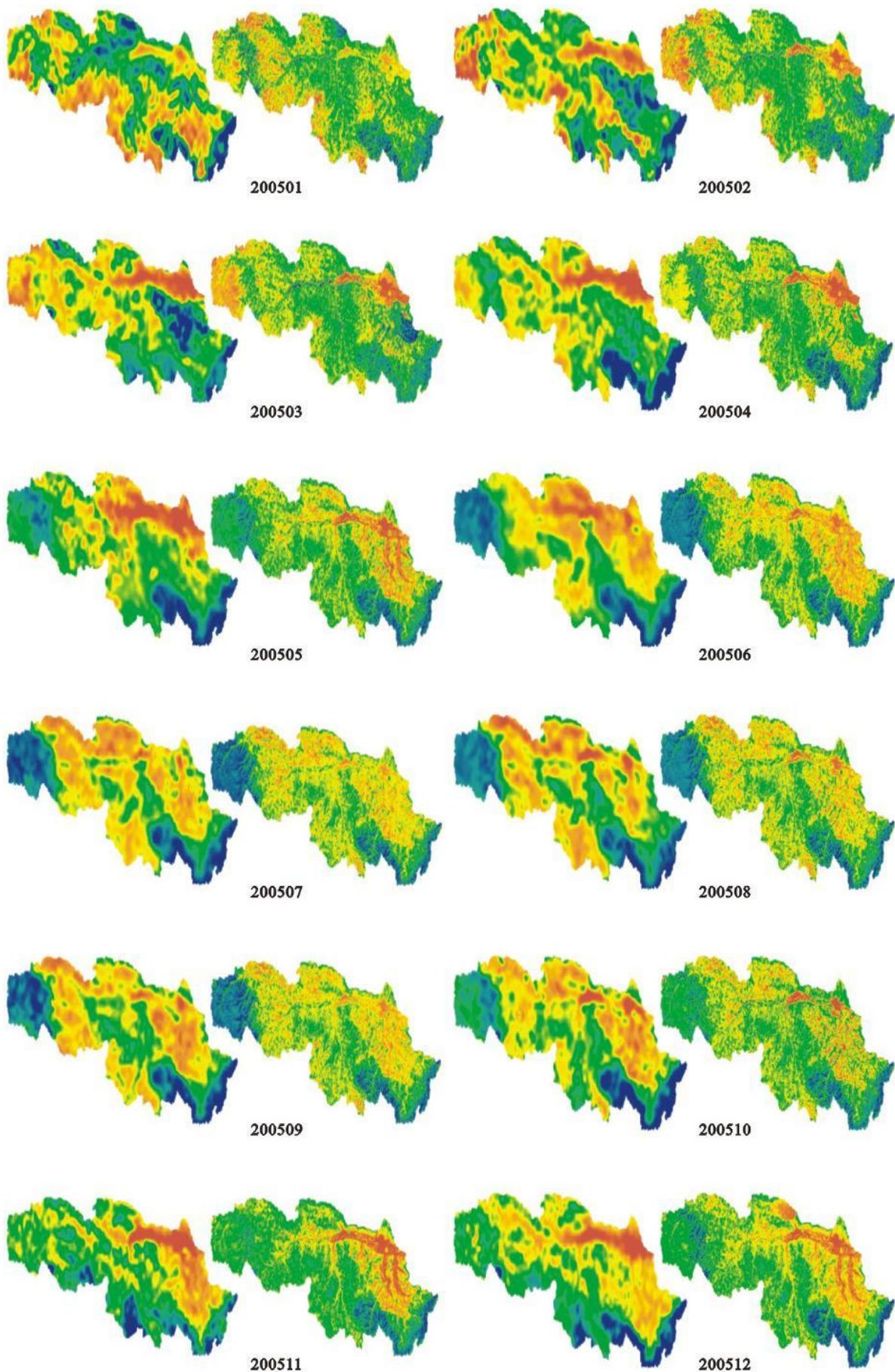


图3 匹配前后图像频率曲线对比分析

## [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 朱显谟. 黄土高原水蚀的主要类型及其有关因素(五、植被因素)[J]. 水土保持通报, 1982, 2(3): 40-44.
- [ 2 ] 朱显谟. 黄土地区植被因素对于水土流失的影响[J]. 土壤学报, 1960, 8(2): 101-121.
- [ 3 ] 黄秉维. 编制黄河中游流域土壤侵蚀分区图的经验和教训[J]. 科学通报, 1955(12): 15-21.
- [ 4 ] The International Users Committee. Vegetation Programme General Description[Z]. 1998.
- [ 5 ] Jin Z, Tian Q, Chen JM, et al. Spatial scaling between leaf area index maps of different resolutions[J]. Journal of Environmental Management, 2007, 85(3): 628-637.
- [ 6 ] 万华伟, 王锦地, 肖志强, 等. 融合 modis 与 aster 数据生成高空间分辨率时间序列 lai 方法研究[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2007, 43(3): 303-308.
- [ 7 ] Acerbi Junior W F, Clevers J, et al. The assessment of multisensor image fusion using wavelet transforms for mapping the Brazilian savanna[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2006, 8: 278-288.
- [ 8 ] Hansen M. C, Roy D P, Lindquist E, et al. A method for integrating MODIS and Landsat data for systematic monitoring of forest cover and change in the Congo Basin[J]. Remote Sensing of Environment, 2008, 112: 2495-2513.
- [ 9 ] Gao F, Masek J, Schwaller M, et al. On the blending of the Landsat and MODIS surface reflectance: Predicting daily Landsat surface reflectance[J]. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 2006, 44(8): 2207-2218.
- [ 10 ] 任宗萍, 杨勤科, 胡志瑞, 等. 基于项目驱动的藉河流域土地利用时空变化动态分析[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(3): 239-244.
- [ 11 ] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [ 12 ] 韩贵锋. 中国东部地区植被覆盖的时空变化及其人为因素的影响研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2007.
- [ 13 ] Gonzalez Rafael C, Woods Richard E. 数字图像处理[M]. 2版. 北京: 电子工业出版社.
- [ 14 ] Swain Michael J, Ballard Dana H. Color indexing[J]. International Journal of Computer Vision, 1991, 7(1): 11-32.
- [ 15 ] 尹忠海, 简剑锋, 周利华, 等. 现有影像逼真度定义的缺陷及其改进[J]. 西安电子科技大学学报: 自然科学版, 2004, 31(6): 833-836, 869.
- [ 16 ] 万华伟, 王锦地, 屈永华, 等. 植被波谱空间尺度效应及尺度转换方法初步研究[J]. 遥感学报, 2008, 12(4): 538-545.



附图1 2005年1—12月甘肃省天水市藉河示范区匹配前后影像对比分析  
 (左为SPOT/VEGETATION NDVI影像, 右为匹配后的NDVI影像)