

# 基于遥感卫星的肯尼亚 2000—2013 年植被覆盖度研究

朱学山<sup>1,3</sup>, 江涛<sup>1</sup>, 魏显虎<sup>2,3</sup>, 张宗科<sup>2,3</sup>

(1. 山东科技大学 测绘科学与工程学院, 山东 青岛 266590; 2. 中国科学院 遥感与数字地球研究所, 北京 100101;

3. 中国科学院 中-非联合研究中心, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**基于 MODIS-NDVI 遥感数据, 采用像元二分模型, 反演肯尼亚地区 2000—2013 年植被覆盖度, 结合土地利用数据进行时空变化的相关分析。结果表明, 肯尼亚全国的植被覆盖度由东北部向西南部逐渐增加, 其中肯尼亚山周边及西南部维多利亚湖周围植被覆盖度较高。2000—2013 年植被覆盖度总体变化不大, 平均 50%, 其中 2007 年植被覆盖度达到最高, 为 55.8%。雨季对肯尼亚植被覆盖度的影响较大, 长短雨季期间植被覆盖度明显高于旱季, 特别是 2006 年 5 月长雨季比 2 月旱季植被覆盖度高出 23.3%。

**关键词:**肯尼亚; 植被覆盖度; 像元二分模型; 雨季

中图分类号: Q948

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2016)06-0024-06

## Study of Vegetation Coverage During 2000—2013 in Kenya Based on Remote Sensing Satellite

ZHU Xueshan<sup>1,3</sup>, JIANG Tao<sup>1</sup>, WEI Xianhu<sup>2,3</sup>, ZHANG Zongke<sup>2,3</sup>

(1. College of Geomatics, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China;

2. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

3. Sino-African Joint Research Center, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, Hubei 430074, China)

**Abstract:** Inversion of vegetation coverage in Kenya during 2000—2013 was first conducted based on MODIS-NDVI remote sensing data and dimidiate pixel model. Then relevant analyses of temporal and spatial variations were made by combining with land-use data. The results show that the vegetation coverage of Kenya increases gradually from northeast to southwest and higher vegetation coverage is found around Mount Kenya and around the Lake Victoria in the southwest. There is little change in overall vegetation coverage during 2000—2013 and the average vegetation coverage is 50%. The vegetation coverage in 2007 reaches 55.8%, the highest during this period. Rainy season has a greater impact on vegetation coverage in Kenya. The vegetation coverage during the long and short rainy seasons is significantly higher than that during the dry seasons. In 2006, the vegetation coverage during the long rainy season in May was 23.3% higher than that during the dry season in February.

**Key words:** Kenya; vegetation fraction; dimidiate pixel model; rainy season

植被覆盖度是指植被(包括叶、茎、枝)在地面的垂直投影面积占统计区域总面积的百分比<sup>[1]</sup>。植被覆盖度是植被茂密程度及植物进行光合作用面积大小, 是反映地表植被群落生长态势的重要指标, 对区域生态环境变化具有重要指标作用<sup>[2]</sup>。目前, 测量植被覆盖度的方法主要分为地面测量和遥感测量两大类<sup>[3]</sup>: ①地面测量方法即传统测量方法, 包括目测法、采样法、仪器法等<sup>[4-5]</sup>。这些传统测量方法耗时、耗力, 且具有难以获取连

收稿日期: 2016-01-19

基金项目: 中国科学院海外科教基地建设计划项目(SAJC201314)

作者简介: 朱学山(1989—), 男, 山东枣庄人, 硕士研究生, 主要从事资源与环境遥感研究. E-mail: 510572787a@163.com

江涛(1961—), 男, 山东济南人, 教授, 博士, 主要从事遥感信息处理与分析、资源与环境遥感等方面研究, 本文通信作者. E-mail: tjiang@126.com

续时间等缺点<sup>[6]</sup>。随着遥感技术的日趋成熟,对大范围区域尺度上的植被覆盖研究大都是基于遥感来进行。其中,应用较为广泛的遥感方法有植被覆盖度与光谱指数相关分析方法、回归模型方法等,但上述方法具有操作过程复杂、测量时间长、受限制条件多、效率不高等缺点,因此不易推广;②遥感测量,包括经验模型法、植被指数法、像元分解法和光谱梯度法等,具有较高精度和较好适用性,可以推广到大范围地区。

近年来,随着中国对非洲的大力支持,使得中国在非洲的影响力与日俱增。肯尼亚作为东非重要国家,国家地势复杂气候条件多变,尤其是最近十几年降雨的相对减少和时空分布不规律造成众多自然灾害。因此,研究 2000—2013 年肯尼亚植被覆盖度及其变化情况,对肯尼亚部分区域的农业发展,整体的生态建设,以及自然环境的保护和开发利用都具有重要意义。

本文利用肯尼亚 2000—2013 年 MODIS 归一化植被指数(NDVI)数据,应用像元二分模型,估算肯尼亚的植被覆盖度,计算不同时期数值,然后进行动态分析,揭示其变化的原因和规律,为合理利用和保护土地资源提供帮助。

## 1 研究区概况

肯尼亚位于非洲东部,地理位置  $04^{\circ}40'S\sim 05^{\circ}02'N, 33^{\circ}56'E\sim 41^{\circ}34'E$ ,濒临印度洋,赤道横贯中部,东非大裂谷纵贯南北,国土面积  $58.3$  万  $\text{km}^2$ ,其中陆地面积  $569\,250$   $\text{km}^2$ ,水域面积  $13\,400$   $\text{km}^2$ <sup>[7]</sup>。东邻索马里,北与埃塞俄比亚、苏丹接壤,西连乌干达,南与坦桑尼亚相连,东南濒临印度洋,海岸线长  $536$   $\text{km}$ 。全国平均海拔超过  $1\,500$   $\text{m}$ ,其中位于中部的肯尼亚山巴蒂安峰海拔  $5\,199$   $\text{m}$ ,为非洲第二高峰。

肯尼亚土地利用/土地覆盖受自然条件的影响,具有明显地带分布特点,总体来看,中西部高原为主要农业生产区,东南地区主要为草灌分布,北部地区地表大多为裸岩石砾或稀疏的草原,森林植被覆盖比较分散,主要分布在肯尼亚山、阿伯德尔山脉等山地上,除维多利亚湖以外,境内湖泊大部分沿东非大裂谷谷底分布。全境位于热带季风区,但受地势较高的影响为热带草原气候。肯尼亚年平均温度  $24^{\circ}\text{C}$ ,年平均降水量  $500\sim 1\,200$   $\text{mm}$ ,且降水季节明显,每年有两个雨季,3—6 月为长雨季,10—12 月为短雨季,其余月份为旱季。

## 2 数据和方法

### 2.1 相关数据

#### 2.1.1 MODIS 数据

MODIS 是 TERRA 和 AUQA 卫星装载的中分辨率成像光谱仪,具有 36 个光谱通道,分辨率有 3 种,分别为  $250$ 、 $50$ 、 $1\,000$   $\text{m}$ ,扫描宽度  $2\,330$   $\text{km}$ 。美国航空航天局(national aeronautics and space administration, NASA)将 MODIS 数据经过严格算法和处理形成 44 种标准数据产品。本文采用的遥感数据产品 MODIS13Q1 是 MODIS 陆地 2 级标准数据产品,数据来自 NASA 数据中心(<http://wist.echo.nasa.gov/api>)。数据的时间分辨率为  $16$   $\text{d}$ ,数据格式是 HDF,包括 NDVI、EVI、蓝、红、近红、中红和 VI 质量文件等 12 层数据,并且每层数据都使用 MVC(maximum value composite)法对  $16$   $\text{d}$  数据进行最大值合成。MODIS 数据投影为正弦曲线投影,在实际应用中需要将 EOD-HDF 格式转换为大多数软件都支持的 Tiff 格式,投影方式转换为 WGS84/Albers Equal Area Conic 投影,通过 MRT(MODIS reprojection tools)软件来完成的,同时可以完成图像的空间拼接和重采样,将  $16$   $\text{d}$  数据采用最大合成法(MVC)得到月 NDVI 数据,并利用肯尼亚国家边界矢量文件裁剪出肯尼亚国家 2000—2013 年 NDVI 栅格数据。

#### 2.1.2 土地利用数据

采用肯尼亚  $1:10$  万土地利用数据以 2010 年 TM 影像作为基础数据,通过人工目视解译得到数据,其平均精度达  $90\%$  以上。参照国际地圈-生物圈计划(IGBP)全球土地覆盖分类系统和土地利用现状分类标准,将肯尼亚土地利用类型划分为耕地、林地、草地、水体、建筑用地和其他用地 6 个一级类型和 18 个二级类型,同时可用支持向量机的方法对影像进行分类,分类结果较为准确<sup>[8-9]</sup>。土地分类的数据主要用于不同土地类型植被覆盖度的变化分析,探究其变化的原因,然后就整体变化进行深入研究。

## 2.2 研究方法

### 2.2.1 像元二分模型

像元二分模型<sup>[10-12]</sup>是一种非常简单的线性加权计算的定量遥感估算模型,原理是在单个像元上所表达的信息  $R$  有两部分组成:一部分为纯植被覆盖的信息  $R_v$ , 另外一部分为非植被覆盖(裸土)的信息  $R_s$ , 单个像元上的信息可表示为两者的线性加权之和:

$$R = R_v + R_s, \quad (1)$$

假设影像上一个像元中有植被覆盖的面积比例为  $f_c$ , 即该像元的植被覆盖度, 那么非植被覆盖(裸土)所占的面积比例为  $1 - f_c$ 。如果该像元全部被植被所覆盖, 那么得到的遥感信息为  $R_{veg}$ , 则混合像元的纯植被覆盖部分所贡献的信息  $R_v$  可以表示为  $R_{veg}$  与  $f_c$  的乘积:

$$R_v = R_{veg} \times f_c, \quad (2)$$

而非植被覆盖(裸土)部分所贡献的信息  $R_s$  可以表示为  $R_{soil}$  与  $1 - f_c$  的乘积:

$$R_s = R_{soil} \times (1 - f_c), \quad (3)$$

通过式(1)~(3)可以解得植被覆盖度公式:

$$f_c = (R - R_{soil}) / (R_{veg} - R_{soil}). \quad (4)$$

其中,  $R_{veg}$  与  $R_{soil}$  是像元二分模型的 2 个参数。因此, 只要知道这 2 个参数就可以根据式(4)利用遥感信息来估算植被覆盖度。

### 2.2.2 由 NDVI 估算植被覆盖度

植被覆盖度和 NDVI 之间存在极显著的线性相关关系, 通过建立两者之间的转换关系, 可以直接提取植被覆盖度的信息<sup>[13]</sup>。根据像元二分模型的原理, 一个像元的 NDVI 值同样可以表示为有植被覆盖的部分和无植被覆盖的部分组成的形式。植被覆盖度的计算公式可表示为:

$$f_c = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil}). \quad (5)$$

其中:  $NDVI_{soil}$  表示为像元中完全是裸土或者是无植被覆盖区域的 NDVI 值, 而  $NDVI_{veg}$  则表示像元中完全由植被所覆盖区域的 NDVI 值。对于大多数类型裸地来说,  $NDVI_{soil}$  值在理论上应等于 0, 并且是不变的, 但在实际获取数据过程中, 受到众多因素的影响, 使得  $NDVI_{soil}$  发生变化, 范围一般在  $-0.1 \sim 0.2$  之间<sup>[14]</sup>。同样, 由于  $NDVI_{veg}$  受到植被类型和植被时空分布的影响, 数值发生改变。因此, 即使对于同一影像在计算植被覆盖度时,  $NDVI_{soil}$  和  $NDVI_{veg}$  的值也不能使用固定值<sup>[15]</sup>。因此, 本文在没有实测数据的情况下, 利用图像在给定的置信区间内的最大值和最小值作为  $NDVI_{max}$  与  $NDVI_{min}$  的值。其中,  $NDVI_{veg}$  值取影像中全覆盖植被土地的  $NDVI_{max}$  值作为理想植被全覆盖地表,  $NDVI_{soil}$  值取影像中裸露土地的  $NDVI_{min}$  值<sup>[16]</sup>。

## 3 结果分析与结论

### 3.1 肯尼亚多年平均植被覆盖度的空间格局

从 2000—2013 年平均植被覆盖度空间分布可以看出(图 2), 肯尼亚植被覆盖度总体呈东北低西南高、由东北向西南递减的特征。另外, 肯尼亚中西部高原地区及东南沿海地区植被覆盖度较高, 北部地区植被覆盖度较低。肯尼亚 14 年间平均植被覆盖度为 0.495, 其中林地平均植被覆盖度最高, 草地植被覆盖度居中, 而裸地是除了冰雪之地外最低的, 由此可见其空间差异非常明显。

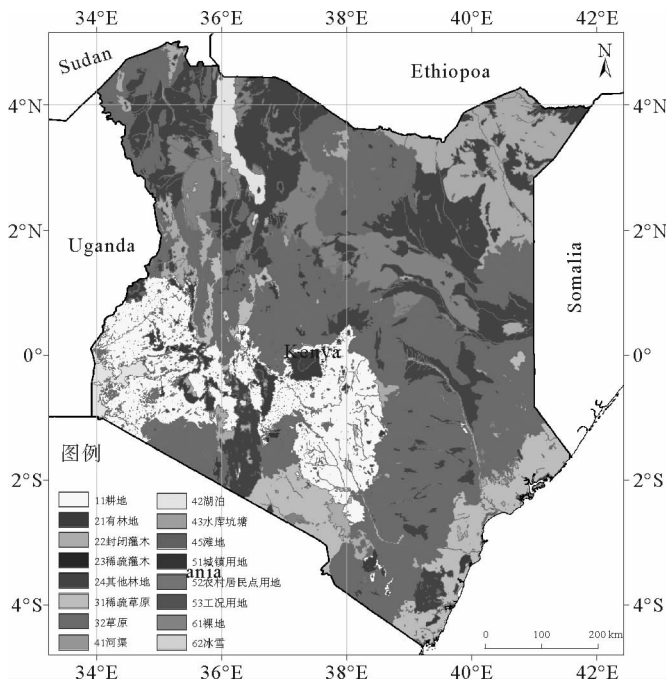


图 1 肯尼亚土地利用图

Fig. 1 Map of land use in Kenya

肯尼亚林地 2000—2013 年平均植被覆盖度达 0.807,主要集中在肯尼亚山、阿伯德尔山脉等山地上,由于海拔较高,一般以雪松、竹林、柱子红树、罗汉松等为主要树种,且森林植被覆盖较分散,森林覆盖约 8%。

肯尼亚草地 2000—2013 年平均植被覆盖度达 0.541,东南地区为草灌分布,北部地区大部分为稀疏草原,草地较多,占全国面积的 40%以上,且具有典型东非高原稀树草原的分布格局。

肯尼亚裸地在 2000—2013 年平均植被覆盖度达 0.283,裸地主要集中在北部东非大裂谷两侧,裸地上主要是裸岩石砾,还有少量荒漠植被。肯尼亚裸地约占全国面积的 7%。

### 3.2 肯尼亚植被覆盖度的年际变化及空间格局

2000—2013 年肯尼亚植被覆盖度总体变化不大,年平均植被覆盖度呈波浪式变化(图 3),2000 年全国平均植被覆盖度最低为 0.445,2007 年最高为 0.558,由线性分析可以看出肯尼亚植被覆盖度总体稍有下降,并且年平均植被覆盖度值与年份无明显相关关系。

由图 4 可以看出,肯尼亚不同区域植被覆盖度变化趋势不同,东南部地区呈减少趋势,部分地区显著减少;中西部高原除小部分地区外,总体呈增加趋势;北部地区呈增加趋势,特别是西北地区和东北局部地区均呈显著增加趋势。根据土地利用图可知,西北和东北林地的植被覆盖度明显增加,而东南方向草地的植被覆盖度则明显减少,维多利亚湖周围耕地的植被覆盖度部分明显增加、而其他部分则明显减少。

### 3.3 肯尼亚植被覆盖度的雨季和旱季变化

肯尼亚全境为热带草原气候,但西南部高原除大裂谷谷底地区较为干热外,属于亚热带森林气候,年降水量 750~1 000 mm。东南沿海平原地区炎热湿润,年降水量 500~1 200 mm,主要集中在 5 月份。北部和东半部是半沙漠区,气候干热少雨,年降水量 250~500 mm<sup>[17]</sup>。肯尼亚 3—6 月为长雨季,10—12 月为短雨季,其余月份为旱季。

由以上可知,肯尼亚植被和农作物的生长大部分需要在长短雨季进行,因此,雨季对植被覆盖度的影响巨大,特别是草原和耕地等区域。这里只对具有代表性的 4 个月份进行研究:长雨季 5 月、短雨季 11 月以及旱季 2 月和 8 月。2000—2013 年这 4 个月份的肯尼亚植被覆盖度的变化情况如图 5,可以看出雨季的 5 月和 11 月的植被覆盖度明显高于旱季的 2 月和 8 月。旱季的 2 个月份的植被覆盖度变化较一致,2 月份植被覆盖度最高值是 0.551,最低为 0.372,8 月份的植被覆盖度最高值为 0.514,最低为 0.378,总体来说波动不是很大;雨季的 2 个月份的植被覆盖度变化较大,5 月份植被覆盖度的最高值为 0.681,最低为 0.351,11 月

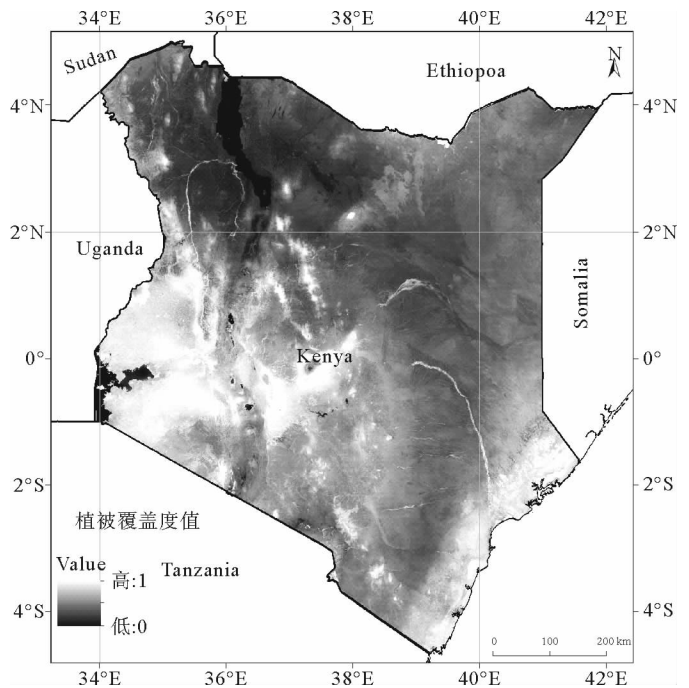


图 2 肯尼亚 14 年间平均植被覆盖度

Fig. 2 Average vegetation coverage in Kenya during the 14 years

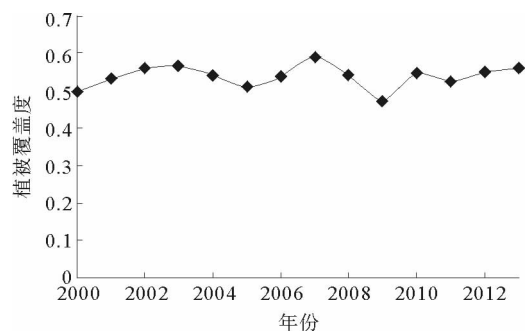


图 3 2000—2013 年的年平均植被覆盖度

Fig. 3 Annual average vegetation coverage during 2000—2013

份的植被覆盖度最高值为 0.63,最低为 0.364,可能与降雨量有直接关系,由于目前没有收集到更详细的肯尼亚降雨数据,就不进行推测,下一步将进行更深入定量研究。

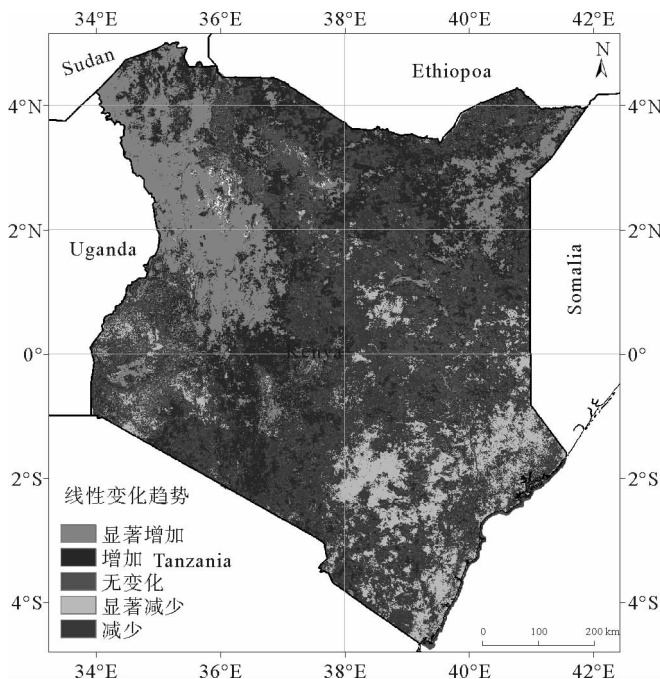


图 4 肯尼亚植被覆盖度变化趋势

Fig. 4 Vegetation coverage change trend in Kenya

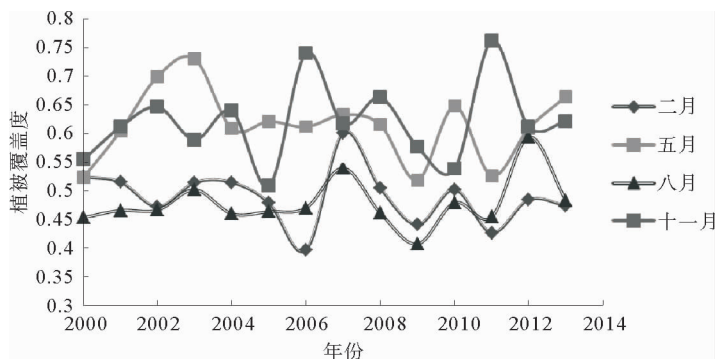


图 5 4 个月份的植被覆盖度变化

Fig. 5 Vegetation coverage changes during four months

#### 4 结论

选用能较好反映植被生长状况的 MODIS13Q1-NDVI 影像来做累计,基于像元二分模型计算肯尼亚植被覆盖度,进而分析肯尼亚植被覆盖度的变化情况。研究发现,在 2000—2013 年肯尼亚年平均植被覆盖度变化不大,但局部植被覆盖度变化很大,在维多利亚湖周围、首都内罗毕周边以及东南沿海人类居住较多区域植被覆盖度明显减少,而西北大部 and 东北局部人类活动较少区域植被覆盖度明显增加,而雨季和旱季植被覆盖度的变化表明降雨对植被的影响。

肯尼亚植被覆盖度受土地类型、不同区域以及不同季节和月份等因素影响,数据分析表明近年来肯尼亚的植被覆盖度发生很大变化,特别是人类和降雨量影响较大,下一步可进行量化研究。

#### 参考文献:

[1]ADAMS J E,ARKIN G F. A light interception method for measuring row crop ground cover[J]. Soil Science Society of America Journal,1977,41(4):789-792.

- [2]甘春英,王兮之,李保生,等.连江流域近 18 年来植被覆盖度变化分析[J].地理科学,2011,31(8):1019-1024.  
GAN Chunying, WANG Xizhi, LI Baosheng, et al. Changes of vegetation coverage during recent 18 years in Lianjiang river watershed[J]. Scientia Geographica Sinica, 2011, 31(8): 1019-1024.
- [3]于秀娟.三江源区植被覆盖度的定量估算与动态变化研究[D].青岛:山东科技大学,2011:5-11.
- [4]邢著荣,冯幼贵,杨贵军,等.基于遥感的植被覆盖度估算方法述评[J].遥感技术与应用,2009,24(6):849-854.  
XING Zhurong, FENG Yougui, YANG Guijun, et al. Method of estimating vegetation coverage based on remote sensing[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2009, 24(6): 849-854.
- [5]张云霞,李晓兵,陈云浩.草地植被覆盖度的多尺度遥感与实地测量方法综述[J].地球科学进展,2003,18(1):85-93.  
ZHANG Yunxia, LI Xiaobing, Chen Yunhao. Overview of field and multi-scale remote sensing measurement approaches to grassland vegetation coverage[J]. Advance in Earth Science, 2003, 18(1): 85-93.
- [6]马娜,胡云峰,庄大方,等.基于遥感和像元二分模型的内蒙古正蓝旗植被覆盖度格局和动态变化[J].地理科学,2012,32(2):251-256.  
MA Na, HU Yunfeng, ZHUANG Dafang, et al. Vegetation coverage distribution and its changes in plan blue banner based on remote sensing data and dimidiated pixel model[J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(2): 251-256.
- [7]何磊,王超,别强,等.利用 MODIS13Q1 产品监测肯尼亚 2001—2010 年荒漠化动态[J].中国沙漠,2013,33(1):46-52.  
HE Lei, WANG Chao, BIE Qiang, et al. Monitoring of desertification dynamic in Kenya during 2001—2010 using MODIS13Q1 data[J]. Journal of Desert Research, 2013, 33(1): 46-52.
- [8]张睿,张继贤,李海涛.地形数据辅助下的山区土地分类研究[J].山东科技大学学报(自然科学版),2007,26(1):38-41.  
ZHANG Rui, ZHANG Jixian, LI Haitao. Classification study of mountainous land cover aided by topographic data[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2007, 26(1): 38-41.
- [9]王明伟,王志平,赵春霞,等.基于最大似然和支持向量机方法的遥感影像地物分类精度评估与比较研究[J].山东科技大学学报(自然科学版),2016,35(3):25-32.  
WANG Mingwei, WANG Zhiping, ZHAO Chunxia, et al. Accuracy evaluation and comparison of ground objects classification in remote sensing images based on ML and SVM methods[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2016, 35(3): 25-32.
- [10]赵英时.遥感应用分析原理与方法[M].北京:科学出版社,2003.
- [11]田海静,曹春香,戴晟懋,等.准格尔旗植被覆盖度变化的时间序列遥感监测[J].地球信息科学学报,2014,16(1):126-132.  
TIAN Haijing, CAO Chunxiang, DAI Shengmao, et al. Analysis of vegetation fractional cover in Jungar Banner based on time-series remote sensing data[J]. Journal of Geo-information Science, 2014, 16(1): 126-132.
- [12]李苗苗,吴炳方,颜长珍,等.密云水库上游植被覆盖的遥感估算[J].资源遥感,2004,26(4):153-159.  
LI Miaomiao, WU Bingfang, YAN Changzhen, et al. Estimation of vegetation fraction in the upper basin of Miyun reservoir by remote sensing[J]. Resources Science, 2004, 26(4): 53-159.
- [13]穆少杰,李建龙,陈奕兆,等.2001—2010 年内蒙古植被覆盖度时空变化特征[J].地理学报,2012,67(9):1255-1267.  
MU Shaojie, LI Jianlong, CHEN Yizhao, et al. Spatial differences of variations of vegetation coverage in Inner Mongolia during 2001—2010[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(9): 1255-1267.
- [14]CARLSON T N, RIPLEY D A. On the relation between NDVI fractional vegetation cover and leaf area index[J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 62(3): 241-252.
- [15]KAUFMAN Y J, TANRE D. Atmospherically resistant vegetation index(ARVI) for EOS-MODIS[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1992, 30(2): 261-270.
- [16]乔峰,张克斌,张生英,等.农牧交错区植被覆盖度动态变化遥感监测:以宁夏盐池为例[J].干旱区研究,2006,23(2):283-288.  
QIAO Feng, ZHANG Kebin, ZHANG Shengying, et al. RS monitoring on the dynamic chang of vegetation coverage in a farming-pasturing ecotons: A case study in Yanchi county, Ningxia Hui autonomous region[J]. Arid Zone Research, 2006, 23(2): 283-288.
- [17]中国社科院西亚非洲研究所.肯尼亚[EB/OL].(2009-07-01)[2016-6-30] <http://iwaas.cass.cn/gjgk/feizhou/2009-06-01/755.shtml>.