

# Temporal and Spatial Variation of Vegetation Analysis Based on MOD13 in Mu Us Sandy Land from 2000 to 2015

Ge Qiu<sup>1,2</sup>, Yuilong Bao<sup>1,2,\*</sup>, Yuihai Bao<sup>1,2</sup>, Jiabin Wu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>College of Geographical Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China

<sup>2</sup>Inner Mongolia Normal University, Key Laboratory of Remote Sensing and Geography Information System, Hohhot 010022, China

<sup>3</sup>Institute of Water Resources for Pastoral Area Ministry of Water Resources, Hohhot 010018, China

## 基于 MOD13 的毛乌素沙地近 16a 植被时空变化特征 分析

邱歌<sup>1,2</sup>, 包玉龙<sup>1,2,\*</sup>, 包玉海<sup>1,2</sup>, 邬佳宾<sup>3</sup>

<sup>1</sup>内蒙古师范大学地理科学学院, 呼和浩特 010022, 中国

<sup>2</sup>内蒙古师范大学遥感与地理信息重点实验室, 呼和浩特 010022, 中国

<sup>3</sup>水利部牧区水利科学研究所, 呼和浩特 010018, 中国

### Abstract

To comprehend the variation of vegetation in Mu Us sandy land, the research use Mu Us sandy land as research area and make Uxin Qi(county) as a sample to anticipate the vegetation index variation on different land-use type. 365 images of Mod13 product are basic data which from 2000 to 2015 and the spatial resolution is 250m. The data will be input in ArcGIS10.3 to analyzed and draw graphs of average NDVI in July and August of Mu Us sandy land and Uxin Qi. Moreover, the research will draw a holistic graph of variation in Mu Us sandy land during the duration of 2000 to 2015. Besides, some of the meteorological elements has been analyzed to explain change of NDVI. The conclusion is the average NDVI although dropt in 2014 and 205 but grew gradually from 2000 to 2013, vegetation growth become optimistic and the main reason of the NDVI change are rainfall, air temperature and sunlight. But there are still some area of Mu Us heavily desert zing and it is harm for vegetation growth.

**Key words:** NDVI, Mu Us sandy land, land-use type, spatial and temporal variation, meteorological factors.

### 摘要

为了解毛乌素沙地近年植被时空变化情况及其驱动机制, 选用毛乌素沙地整体作为研究区, 以乌审旗作为研究样本, 采用 2000-2015 年空间分辨率为 250 米的 MOD13 产品。利用 ArcGIS10.3 作为分析工具, 建立了 2000 至 2015 年毛乌素沙地 NDVI 变化曲线图。分析了 16 年来毛乌素沙地归一化植被指数 (NDVI) 的变化, 了解了近 16 年来此区域植被时空变化的特征。同时利用毛乌素沙地内四个气象站收集的气象要素分析了 NDVI 变化的可能驱动机制。研究结果表明: 2000 至 2013 年毛乌素沙地 NDVI 处于逐渐增加或稳定性增加趋势, 植被长势变好, 其中降水、气温是影响毛乌素沙地植被的主要因素。毛乌素沙地仍有荒漠化严重的地区, 这使适宜的气温和降水难以促进植被的生长。

**关键词:** NDVI; 毛乌素沙地; 时空变化; 土地利用类型; 气象要素

### 1. 引言

植被是联系大气圈、水圈和土壤圈的纽带, 是整个地球系统物质能量交换的载体, 是土壤形成和变化的生物因素之一, 是陆地生态系统的重要组成部分。<sup>[2]</sup>植被不但对一个地

\*通讯作者: 包玉龙, E-mail: baoyulong@imnu.edu.cn。

区物候的研究有着重要的意义，同时对于一个地区的生态环境有指示性作用。传统的对于一个地区的植被的观测方法主要以野外目视观测为主，无法达到利用遥感影像覆盖范围广，时间序列长，进行大尺度时空分析的特点，致使观测大量耗费人力物力，效果也并不显著。NASA的Terra和Aqua卫星上所搭载的主要传感器-MODIS中MOD13陆地二级标准数据产品的内容是栅格的归一化植被指数（NDVI）与增强型植被指数（EVI），空间分辨率为250米，时间分辨率为16d，能够完成大范围多时相的特定遥感任务。

植被指数是反映植被生长状况的科学指标，其中NDVI（归一化植被指数）是目前应用最为成功的指数之一，<sup>[3]</sup>在使用遥感图像研究植被和植被物候中得到广泛的应用，可以较精确的反映出地表植被的绿度和光合作用的强度，与植被分布密度呈线性相关，它是植物生长状态以及植被空间分布密度的较佳指示因子，是目前区域植被变化研究的主要分析工具之一。其中：

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

NIR为近红外波段，Red为可见光红色波段

NDVI的值介于-1~1之间，判断时，一般认为NDVI值越大，植被长势越好，覆盖度越高。裸土、岩石的NDVI值趋于0，而水体的NDVI值为负。

毛乌素沙地作为我国四大沙地之一，位于中国北方农牧用地交错位置，处于几个自然地带的交接地段，生态环境脆弱，是中国重要的生态屏障。乌审旗因位于毛乌素沙腹地，土地利用类型复杂，因此观测其植被时空特征，获取该地区植被时空变化情况，对于毛乌素沙漠的荒漠化治理和地方政府进行决策有着重要意义。<sup>[4]</sup>由于NDVI对植被覆盖较低的地区比较敏感密，考虑了土壤对植被的影响，且毛乌素沙地因其植被覆盖度不高，非常适合使用NDVI进行调查与判断。国内已有很多学者根据NDVI对毛乌素沙地进行了分析，但主要集中在2000-2010年，本研究基于MOD13的NDVI数据，使用ArcGIS10.3Model Builder, Zonal Statistic等工具对毛乌素沙地2000-2015年的NDVI值进行了提取，并将多年NDVI变化制成图表供以后的研究者参考。

2. 研究区概况

毛乌素沙地位于陕西省榆林地区和内蒙古自治区鄂尔多斯市之间，面积4.22万平方公里，位于北纬37° 27.5' —39° 22.5'，东经107° 20' —111° 30'。包括内蒙古自治区的鄂尔多斯市南部、陕西省榆林市的北部风沙区和宁夏回族自治区盐池县东

北部。<sup>[4]</sup>毛乌素沙区海拔多为1100—1300米，西北部稍高，达1400—1500米，东南部河谷低至950米。<sup>[4]</sup>沙区年均温6.0~8.5℃，1月均温-9.5~12℃，7月均温22~24℃，年降水量250~440毫米，集中于7~9月，占全年降水60~75%，尤以8月为多。降水年际变率大，多雨年为少雨年2~4倍，常发生旱灾和涝灾，且旱多于涝。<sup>[5][6]</sup>

3. 数据来源与处理

3.1 数据来源

遥感数据为中分辨率成像光谱仪—MODIS数据，本文所采用之原始数据均为从NASA官方网站 <http://modis.gsfc.nasa.gov/>所下载，选取的是研究区2000-2015年的数据集，该数据集每年有23张HDF格式遥感图片，内容包括植被指数数据，并以16d为间隔拍摄，空间分辨率为250m。

背景资料为2010年的毛乌素沙地矢量图与2010年乌审旗矢量图。

气象数据为内蒙古气象局2000-2015年乌审旗，鄂托克旗，鄂托克前旗，伊金霍洛旗四个气象站的降水，月均温和日照数据。

3.2 遥感图像处理

对所下载的MOD13数据集使用ENV4.7根据研究区进行规则裁剪，并将格式由HDF转至Tiff格式，地图投影由SIN转为WGS84/Albers Equal Area Conic投影以方便ArcGIS10.3处理。将数据集在ENV4.7中进行辐射纠正，几何纠正并输出。

3.2.1 去除不相关NDVI负值

为发掘毛乌素沙地16年来植被覆盖变化规律，需要去除NDVI值为负（水体等）的栅格的干扰，主要利用ArcToolbox-Raster Calculator与迭代器相结合，使用Setnull算法将数据集中的负值去除。

3.2.2 毛乌素沙地区域平均值计算

选用Model Builder中的迭代器与ArcToolbox-Zonal Statistics的MEAN算法结合，得到每张遥感图像去负值后所选区域内NDVI平均值。

3.2.3 毛乌素沙地平均值提取

利用Draw工具创建点要素与Extraction结合对平均值进行提取。

### 3.3 乌审旗各土地利用类型 NDVI 平均值计算

利用乌审旗作为样本对各土地类型的NDVI进行提取 (1) 使用attribute table对标号十位数为1、2、3、6 (耕地、林地、草地、未利用地) 进行选择, 删除其他不需要进行进一步分析的土地类型。(2) 使用Model Builder的迭代器和Zonal Statistics对研究区内各土地利用类型区域的平均值进行计算。

#### 3.3.1 NDVI 平均值提取

1. 使用Draw, 将四个点分别插入不同的土地利用类型区域。之后使用Convert graphs to features 工具将其矢量化为图层, 使用ArcToolbox -Extract Multi Values to Points 工具结合四个点要素提取不同土地利用类型NDVI的平均值。

为了解多年的植被长势, 本研究在乌审旗NDVI 提取部分中只提取了每年第193、209、225、241天 (7、8月份) 的MOD13图像

#### 3.4 气象数据处理

将每年7、8月降水, 月均温, 月日照时长数据分别进行平均值计算并与站点位置7、8月份的NDVI 平均值数据, 共同输入 SPSS 软件进行相关系数计算, 验证正态分布与否, 并进行 t 检验。相关系数:

$$r = \sqrt{\frac{\text{Cov}(x,y)}{\sigma_x\sigma_y}} \quad (1)$$

若 r 为负则随着 NDVI 增大相关气象要素减小, r 为正则相反。(r 的正负只代表正负相关而无数学意义) 要验证变量之间相关系数的可信度需要进行显著性检验, 本研究采用 t 检验:

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (2)$$

根据 t 的结果得到统计学 p 值, 若  $p > 0.05$  则两组变量有统计学意义, 反之则无统计学意义。

### 4. 结果分析

每年的7、8月是植被生长最旺盛的时间, 研究该时期的NDVI指数, 可以对该年该区域植被的生长状况, 该年气候条件等有一个较为准确的了解, 本研究选取2000-2015年毛乌素沙地7、8月NDVI值, 通过平均值计算得出表4-1和图4-1

结合图 4-1 与表 4-1, 本研究可以清晰的得出以下结论: 毛乌素沙地 7、8 月份的 NDVI 平均值于 2000 处于最低点约为 0.1963, 在 2002 年达到 0.2625, 而在 2003 年与 2004 年几乎保持了 2002 年的水准只

表 4-1: 2000-2015 毛乌素沙地 7、8 月 NDVI 平均值  
Tab4-1: Average NDVI in July and August of Mu Us Sandy Land

| 年份   | NDVI值  | 年份   | NDVI值  | 年份   | NDVI值  | 年份   | NDVI   |
|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| 2000 | 0.1964 | 2004 | 0.2645 | 2008 | 0.2694 | 2012 | 0.3330 |
| 2001 | 0.2089 | 2005 | 0.2472 | 2009 | 0.2908 | 2013 | 0.3333 |
| 2002 | 0.2625 | 2006 | 0.2596 | 2010 | 0.2907 | 2014 | 0.3078 |
| 2003 | 0.2647 | 2007 | 0.2776 | 2011 | 0.2743 | 2015 | 0.2827 |

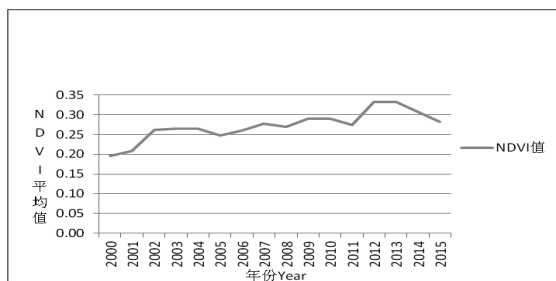


图 4-1: 2000-2015 毛乌素沙地 7、8 月 NDVI 平均值

Fig4-1: Average NDVI in July and August of Mu Us Sandy Land

有较小变化,但在 2005 年下降约 0.0172 个点,2006 年与 2007 年较 2005 年上升,在 2008 年的小幅下降后,NDVI 值在 2009 年达到了 2000-2010 年的峰值 0.2908,但在 2011 年小幅下降。2013 年达到 16 年来的顶峰 0.3333,但在 2014 年与 2015 年逐步下降,从 0.3333 降低至 2015 年的 0.2826,根据 NDVI 与植物长势的正相关关系,本研究得出,在毛乌素沙地研究区范围内,2000-2013 年植被长势整体上越来越好,其具体趋势与表 4-1 中 NDVI 值联系紧密,但在 2014-2015NDVI 平均值下降,植被长势也不如 2012、2013 年好。

图4-2为每年每旬NDVI变化曲线,得到16年来年

2000年NDVI低于16年来平均值且年内NDVI值波动极大,有第12和14旬两个最低点,NDVI值分别为0.1145和0.122。同时2001年NDVI也整体低于平均值较多,其最大值低于平均值近0.05。由此可知2000与2001年两年植被长势远不如其他年份。而与此相反的是2012与2013年的NDVI,其中2012年NDVI最大值远高于平均值最大值,约为0.357,处于第14旬。2013年第13、14、15旬NDVI变化平缓,但也远大于同一旬时的平均值0.253,0.268,0.288约为0.336。可见2012年2013年植被长势好于其他各年,且在13、14、15旬时远高于平均。

图4-3反映了2000-2015年乌审旗耕地、林地、

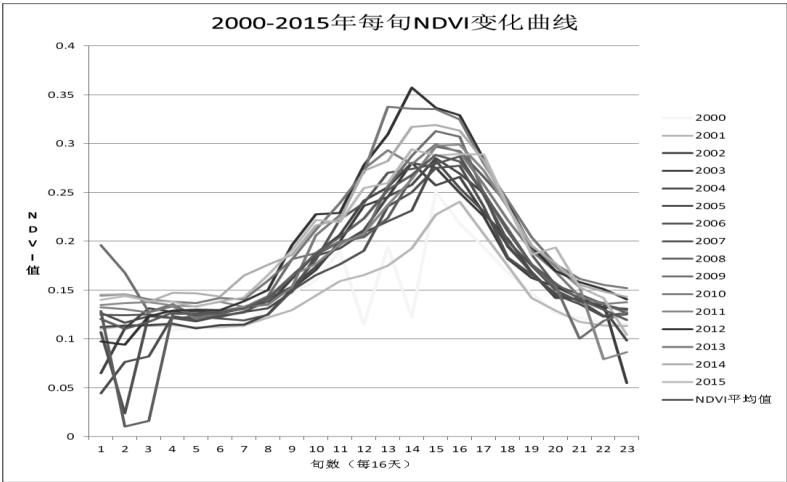


图 4-2:2000-2015 毛乌素沙地每旬 NDVI 变化曲线

Fig4-2:2000-2015Every 16d NDVI Variation in Mu Us Sandy Land

内NDVI变化走势,表4-2统计了16年来同旬NDVI的平均值,图4-2的平均值线代表了表4-2的数据。其中,

草地和未利用土地每年7、8月份NDVI平均值的年际变化,由图可以得出,在2000年,乌审旗的耕地、

表 4-2: 16a 每旬 NDVI 平均值  
Tab4-2: 16a Average NDVI Every 16d

| 旬 | NDVI 平均值 | 旬  | NDVI 平均值 | 旬  | NDVI 平均值 |
|---|----------|----|----------|----|----------|
| 1 | 1207.462 | 9  | 1632.269 | 17 | 2499.945 |
| 2 | 1103.338 | 10 | 1877.782 | 18 | 2101.984 |
| 3 | 1177.076 | 11 | 2048.533 | 19 | 1766.423 |
| 4 | 1273.394 | 12 | 2234.736 | 20 | 1566.764 |
| 5 | 1246.170 | 13 | 2525.663 | 21 | 1404.714 |
| 6 | 1268.688 | 14 | 2679.013 | 22 | 1299.576 |
| 7 | 1309.604 | 15 | 2886.250 | 23 | 1195.625 |
| 8 | 1416.191 | 16 | 2817.630 |    |          |

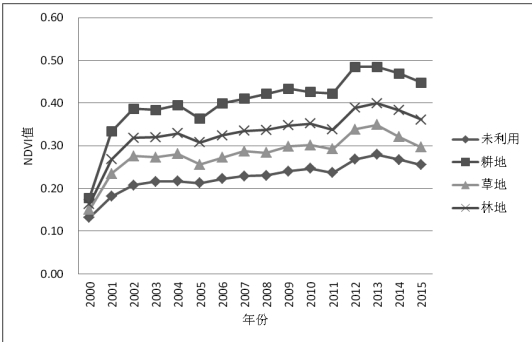


图 4-3 :乌审旗不同土地利用类型每年 7、8 月 NDVI 平均值变化曲线

Fig4-3: Average NDVI of different land-use type in Uxin Qi in July and August Every Year (From 2000-2015)

林地、草地和未利用土地四种土地类型的NDVI平均值差距不超过0.046,但从2001年开始差距迅速拉大,耕地在16年间的NDVI平均值均远大于林地、草地、未利用土地,并于2013年达到峰值0.4849基本上高过其他土地利用类型最少0.1左右,虽然在2005年与2011年有两个谷值0.3631和0.4221稍低于相邻年份,但这部分影响很可能是由于自然物候原因引起,因为其他土地利用类型也在相同的年份达到了谷值,如2005年和2011年草地的0.2560和0.2921。

在四种土地利用类型中耕地的NDVI增长最为明显,从2000年的0.1776到2003年的0.4849最后在2014、2015年稍微下滑达到0.4476,最终上升0.27,耕地的作物长势越来越好。林地与耕地曲线类似,2000年为最低0.1672,2013年达到峰值0.3992,在2014、2015年下滑到0.3611。增长约0.19。草地方面由2000年最低的0.1503到达2013年的峰值0.3488,在2015年最终下降至0.2963,最终上升约0.15。未利用土地方面虽然曲线一直较为平滑,但最终仍上升0.12。乌审旗的四种土地利用类型NDVI每年7、8月平均值基本与毛乌素沙地近16年来NDVI(图4-1)变化趋同,并在耕地、林

地部分远超毛乌素沙地总体NDVI平均值,并在草地方面与毛乌素沙地总体相近。乌审旗位于毛乌素沙地腹地,可以近似的将乌审旗的不同土地利用类型的NDVI变化作为样本,反映毛乌素沙地整体四种土地利用类型的NDVI变化。

表4-3表示的是鄂托、伊旗、乌审、鄂前四个气象站所测得的主要气象要素数据在7、8月份的平均值的16年数据与站点处16年来每7、8月份NDVI的平均值之间的相关系数,从表中可得气温与NDVI相关系数较高,且成负相关,主要原因是气象站点的四个旗大多位于毛乌素沙地北部,气候较为干旱,气温升高时蒸散量变大,如降水不能及时补给便会抑制植被生长。降水方面,鄂旗,伊旗,乌审旗的相关系数较高,而鄂前旗成负相关很可能有两个因素,(1)因为鄂前旗气象站位置土地耕地较少而未利用土地较多,保水能力较差,即使降水增加,植被的生长也不会受到太大影响。(2)周围有河流,湿度较大,降水的多少不影响附近植被的生长。日照方面由于鄂托和伊旗的相关系数可信度较低,不做参考。

表4-3 NDVI与各旗气象站点气象要素相关度  
Tab4-3 relevancy between NDVI and meteorological factors

|       | 降水     | 气温     | 日照    |
|-------|--------|--------|-------|
| 鄂托克旗  | 0.59*  | -0.69* | -0.63 |
| 伊金霍洛旗 | 0.44*  | -0.61* | -0.64 |
| 乌审旗   | 0.31*  | -0.24* | 0.59* |
| 鄂托克前旗 | -0.02* | -0.59* | 0.58* |

\*表示有该相关系数有95%的可信度,而未加\*的相关度在统计学中无意义

5. 结论与讨论

综上所述，从毛乌素沙地整体来看，其 NDVI 虽然在一些年份有较小回落，且在 2014, 2015 年有明显下降趋势但在 16a 内基本趋势是上升的，表明植被的涨势虽偶尔有下降但仍逐年趋好，其中 2000 和 2001 年 NDVI 全年都较多的低于 16a 的平均值，且年内波动较大，2014 和 2015NDVI 全年高于 16a 平均值，而在土地利用类型方面，本研究以乌审旗为样本，分析了乌审旗内耕地，林地，草地，未利用地，四种土地类型的 NDVI 年际变化，结果表明四种土地利用类型的 NDVI 在 16a 内的大趋势都是增加的，但从数据来看，耕地 NDVI 变化最为明显（上升），其次为林地，草地，和未利用地。通过对于气象要素的研究，本研究初步挖掘了 NDVI 变化的驱动机制，其中降水和气温是影响植被生长的最主要原因，但其相辅相成且与当地的土地类型有较大的关联，特别是在荒漠化严重的地区，不单需要适宜的气温促进植物生长，更重要的是增强土地的保水能力，使植被保水与保水之后的生长形成良性循环。

Acknowledgements

This study was supported by the national "twelfth five-year" science and technology support project (2013BAK05B01) , Science and technology research project of Inner Mongolia college and university (NJZY14036) , Science and Technology project of Inner Mongolia(No.20140713) .

致谢

本研究得到了资助项目：“十二五”科技支撑计划项目资助（2013BAK05B01）、内蒙古自治区高等学校科学技术研究项目（NJZY14036）和内蒙古自治区科技计划项目（20140713）。

参考文献:

[1] 王静璞, 刘连友等.毛乌素沙地植被物候时空变化特征及其影响因素. *中国沙漠*, 2015, 35(3): 624-631

[2] 章文波, 符素华, 刘宝元.目估法测量植被覆盖度的精度分析. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2001, 37(3):402 -408.

[3] 李金霞, 王萨仁娜, 包玉海, 殷秀琴.基于遥感与 GIS 的扎鲁特旗土地盐渍化动态监测. *干旱区资源与环境*, 2007, 21(12):57 -63.

[4] 乔锋, 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. *干旱区研究*, 2006, 23(2):283 -288.

[5] 罗娟, 银山, 包玉海, 等. 2000-2010 年毛乌素沙地植被覆盖动态变化特征分析及其气候响应. *风险分析和危机反应中的信息技术*, 黄崇福, 包玉海, 赵思健编. 巴黎: Atlantis 出版社, pp.517-522, 2014.

[6] 陈海, 康慕谊, 范一大.北方农牧交错带植被覆盖的动态变化及其与气候因子关地理与地理信息科学, 2004,20(5):54-57.

[7] 北京大学地理系. 毛乌素沙地自然条件及其改良利用. 北京: 科学出版社, 1983,4-6.

[8] Myneni R B, K Eeling C D,Tucker C J, et al. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature*, 386(6626): 698-702,1997.

[9] Nemani R, Keeling C, Hashimoto, et al. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from1982 to 1999. *Science*, 300: 1560-1563, 2003.