

# 乌审旗植被覆盖度动态变化及其与降水量的关系

于小飞<sup>1</sup>, 孙睿<sup>1</sup>, 陈永俊<sup>1</sup>, 刘绍民<sup>1</sup>, 周会珍<sup>1</sup>, 张忠山<sup>2</sup>

(1. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 遥感科学国家重点实验室, 环境遥感

与数字城市北京市重点实验室, 北京 100875;

2. 内蒙古乌审旗林业局毛乌素沙地开发整治研究中心, 乌审旗 017300)

**摘要:** 利用 GIMMS (Global Inventory Modelling and Mapping Studies) 数据集的 8km 的 AVHRR NDVI (均一化植被指数) 数据, 分别用年最大 NDVI 的平均值和年最大 NDVI 的斜率对 1981 年~2003 年 23 年间的内蒙古乌审旗植被覆盖度的空间分布及其动态变化进行了分析, 并通过比较降水量与年最大 NDVI 的年际变化以及分析降水量与年最大 NDVI 之间的相关系数研究了降水对乌审旗植被覆盖的影响; 利用 1986 年, 1994 年的 TM 和 2002 年的 ETM+ 数据分析了乌审旗植被的主要变化类型。结果表明, 这 23 年间植被覆盖度和降水量的年际变化趋势基本一致, 年最大 NDVI 与前一年 8 月至当年 7 月的降水有最好的相关性, 并且在地表覆盖为草地和灌木林地的地区, 二者的相关性要高于地表覆盖为耕地和乔木林地的地区; 植被覆盖度最低值分布在地表主要覆盖为沙地的乌审旗西北部, 植被覆盖度最高值分布在地表覆盖为耕地的东南部; 人类活动的积极影响使得植被覆盖度总的趋势是在增加的, 但由于气候的干旱趋势使中部一些乡镇的植被覆盖度是在减少的, 其余的地区都是在增大的, 且变率很大。

**关键词:** 植被覆盖度; 植被指数; 降水量; NDVI; 年际变化

## 1 引言

植被, 包括森林、灌丛、草地与农作物, 具有截流降雨、减缓径流、防沙治沙、保土固土等功能。植被作为生态系统的主要组分, 是生态系统存在的基础, 也是联结土壤、大气和水分的自然“纽带”, 它在陆地表面的能量交换过程、生物地球化学循环过程和水文循环过程中扮演着重要的角色, 在全球变化研究中起着“指示器”的作用。植被覆盖度是植物群落覆盖地表状况的一个综合量化指标<sup>[1]</sup>。植被覆盖与气候因子关系极为密切, 研究植被覆盖变化对气候的影响是气候变化研究的主要内容之一。遥感技术的发展, 从多时相、多波段遥感信息可以提取地表覆盖状况、植被所吸收的光合有效辐射, 植被覆盖度状况等植被参数与环境变量, 这为研究陆地植被的分布、季节变化及年际间的变化提供了强有力的手段。

遥感图像上的植被信息, 主要通过绿色植物叶子和植被冠层的光谱特性及其差异、变化而反映的。植被指数是一种简单而有效的形式, 它往往选用多光谱遥感数据经分析运算(加、减、乘、除等线性或非

线性组合方式), 产生某些对植被长势、生物量等有一定指示意义的数值。其中归一化植被指数 (NDVI) 被定义为近红外波段与可见光红波段数值之差和这两个波段数值之和的比值。即

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

其值在 $[-1, 1]$ 范围内。由于 NDVI 经比值处理, 可以部分消除与太阳高度角、卫星观测角、地形、云/阴影和大气条件有关的辐照度条件变化(大气程辐射)等的影响, 而且 NDVI 是植被生长状态及植被覆盖度的最佳指示因子, 因此在植被遥感中, NDVI 的应用最为广泛, 常用来定性和定量评价植被覆盖、生长活力及生物量<sup>[2]</sup>。

植被覆盖度是一个重要的生态学参数, 其定义为植被(包括叶、茎、枝)在地面的垂直投影面积占统计区总面积的百分比。植被覆盖度是植物群落覆盖地表状况的一个综合量化指标。目前, 常用的计算方法是使用 NDVI 来计算地表植被覆盖度, 计算公式为<sup>[3, 4]</sup>:

$$f_c = (NDVI - NDVI_{sol}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{sol}) \quad (2)$$

收稿日期: 2005-10-09; 修订日期: 2005-11-25

**基金项目:** 国家自然科学基金资助(编号: 40501045); 长江学者和创新团队发展计划资助; 国家 863 计划项目资助(编号: 2002AA2Z4271)。

**作者简介:** 于小飞(1980~), 女, 江苏泰州人, 硕士生, 主要研究方向为遥感应用。

**E-mail:** xiaofeiyyufo@126.com

**通讯作者:** 孙睿, **E-mail:** sunrui@bnu.edu.cn

式中:  $NDVI_{soil}$  为裸土或无植被覆盖区域的 NDVI 值, 即无植被像元的 NDVI 值;  $NDVI_{veg}$  为完全被植被所覆盖的像元的 NDVI 值, 即纯植被像元的 NDVI 值。对于陆地表面主要覆盖而言, 岩石、裸土的 NDVI 值近于 0; 在有植被覆盖的情况下, NDVI 为正值 ( $> 0$ ), 且随植被覆盖度的增大而增大。几种典型的地面覆盖类型在大尺度 NDVI 图像上区分鲜明, 植被得到有效的突出。因此, 它特别适用于全球或各大陆等大尺度的植被动态监测<sup>[5]</sup>。而在对植被的动态变化进行监测时, 通常运用 NDVI 值来表示植被覆盖度的相对变化。

另外, NOAA/AVHRR 的 NDVI 已被发现与降水有很好的相关性, NDVI 与降水量之间的这种关系是降水年际变化的很灵敏的指示器<sup>[6]</sup>。Schmidt 等人利用 NOAA/AVHRR NDVI 对以色列的一个南北样带内不同植被带植被对降水的响应进行了研究, 结果也表明在过渡带 NDVI 对降水很敏感<sup>[7]</sup>。王长耀等的研究表明在整个生长期的 NDVI 对半干旱区的降雨量、对大气  $CO_2$  浓度随季节和纬度变化敏感<sup>[8]</sup>。

本文从 NDVI 与植被覆盖度定性关系的角度对 1981 年~2003 年间乌审旗植被覆盖度的变化进行监测, 并分析了 NDVI 指示的植被覆盖度与降水量之间的关系, 为进一步研究植被与气候及人类活动等的相互作用打下基础。

## 2 研究区概况

乌审旗位于鄂尔多斯草原西南部, 地处毛乌素沙地腹地, 地理坐标为北纬  $37^{\circ}38'54'' \sim 39^{\circ}23'50''$ , 东经  $108^{\circ}17' \sim 109^{\circ}40'22''$ , 是内蒙古自治区重要的畜牧业生产基地。东邻伊金霍洛旗, 南连陕西省榆林、神木、横山、靖边等县市, 西连鄂托克前旗, 北接鄂托克旗和杭锦旗, 总面积  $11\,645\,km^2$ 。旗境南北长  $194\,km$ , 东西宽  $104\,km$ , 平均海拔  $1300\,m$  左右, 整体地势由西北向东南平缓倾斜。乌审旗属于温带极端大陆性季风气候, 受极地大陆冷气团控制时间较长, 受海洋热带暖气团影响时间较短。降雨是季节性的, 冬春季降雪稀少, 夏秋季雨水集中。降水量年际和年内变化很大, 风沙频繁, 多刮西北大风, 属于半干旱地区。

乌审旗的土地资源比较丰富, 虽然土地沙化的程度较高, 但草地、林地、耕地的面积也很大<sup>[9]</sup>。如图 1 所示为由 2002 年 Landsat ETM+ 影像解译的乌审旗土地利用与覆盖图, 解译结果显示, 草地面积占

总土地面积  $43.61\%$ , 主要以牧草地占绝对优势, 尤以天然草场占比重最大; 林地占总土地面积  $15.68\%$ , 并且分布不均匀, 对抵御土地严重沙化尚显得乏力。耕地占土地总面积的  $1.48\%$ , 其中水浇地约占一半。由于人们的长期不合理的掠夺式开发利用土地资源, “三滥”(滥垦、滥伐、滥牧) 的原因, 使得沙地面积广大, 近年来, 乌审旗政府采取了很多保护植被和治沙措施, 使得植被的覆盖度有所增加。

## 3 数据与方法

本研究所采用的遥感影像资料是 GIMMS (Global Inventory Modelling and Mapping Studies) 的数据集的  $8\,km$  的 NDVI 数据, 从中截取了研究区范围的数据, 时间是从 1981 年~2003 年每一年 12 个月的数据, 其中 1981 年的只有下半年的数据。数据预处理采用的是非线性的模型分解方法 (Empirical Mode Decomposition methods), 从遥感影像中去除了由大气、辐射定标引起的 NDVI 的变化<sup>[10]</sup>。初始影像的投影为等角投影, 我们将其投影转换成等积圆锥投影。

降水量资料是利用乌审旗以及周围 12 个气象站的 1981 年~2003 年逐月降水资料, 利用梯度距离平方反比法对这 12 个气象站点的降水数据进行插值得到的面上的乌审旗的月降水量, 投影为等积圆锥投影。

为了对植被覆盖度进行动态监测, 我们首先计算出了 1981 年~2003 年的每年的最大 NDVI 值, 用于分析植被的覆盖度的年际变化。由于 NDVI 的变化与降水量之间具有相关关系, 我们将 NDVI 代表的植被覆盖度的变化与年降水量的年际变化进行比较, 并对其之间的相关关系和植被覆盖度变化的地区分布进行了分析。

另外, 我们利用乌审旗 23 年的年最大 NDVI 图像进行线性回归, 得到一幅回归斜率图像, 斜率的大小可以反映植被覆盖度的变化趋势, 斜率为正表示植被覆盖度有增加的趋势, 反之则表示植被覆盖度有下降的趋势; 我们还计算得到 23 年的绝对变率图像, 来反映植被覆盖度的年际间变化强度的分布。

对植被覆盖度类型的分析中, 选取了 1986 年, 1994 年的 TM 和 2002 年 ETM+ 数据, 进行了土地利用/覆盖的动态监测, 我们采用的是分类前像元比较法中的主成分分析方法<sup>[11]</sup>, 在监测前, 做了较为精确的几何校正, 相对大气纠正, 图像拼接等预处理。

4 结果分析

4.1 植被覆盖度的空间分布

由于 NDVI 是植被生长状态及植被覆盖度的最佳指示因子,我们以乌审旗最近 5 年的年 NDVI 最大值的平均值来表示乌审旗近期植被覆盖度的平均分布状况<sup>[12]</sup>(图 2)。

从 NDVI 值的大小可以看出,西北部沙漠分布区的植被覆盖度达到了最低值,沙漠与草地交错分布的区域的值也较低,而其余植被分布的区域植被的覆盖度都较高,特别在东南角,有植被覆盖度的最高值,而此处正是水浇地的分布区,且长势很好。

4.2 NDVI 与降水量的年际变化分析

植被覆盖度的年际变化主要是由于气候的波动以及人类活动所引起的。乌审旗处于干旱半干旱区,降水是影响植被生长的主要因子,因此在一个较短时期内,影响植被覆盖的气候因子中最显著的应该是降水量的多少及降水在年内的分配,为了分析乌审旗降水对植被覆盖年际变化的影响,我们分别计算了乌审旗 1981 年~2003 年各时间段与当年 12 个月 NDVI 平均值的相关系数,这些时间段包括:前一年的降水量,当年的降水量,前一年 6 月至当年 5 月的降水量,前一年 7 月至当年 6 月的降水量,前一年 8 月至当年 7 月的降水量,前一年 9 月至当年 8 月以及前一年 10 月至当年 9 月的降水量,结果表明

对当年植被覆盖度影响最大的是前一年 8 月至当年 7 月的降水量。其植被平均覆盖率与平均降水量的相关性如表 1 所示。

表 1 各时段植被覆盖度与降水量的相关关系

Table 1 The correlative relation of vegetation coverage and rainfall at different periods of time							
	前一年	当年	前一年 6 月—当年 5 月	前一年 7 月—当年 6 月	前一年 8 月—当年 7 月	前一年 9 月—当年 8 月	前一年 10 月—当年 9 月
相关系数	0.064	0.170	0.248	0.328 *	0.497**	0.402 *	0.236

注: \* 表示达到 0.1 的显著性水平, \* \* 表示达到 0.05 的显著性水平。

乌审旗 23 年间的前一年 8 月至当年 7 月的降水总量与当年植被覆盖度的相关性分布如图 3 所示。从图中可以看出,相关系数最大值分布在南部的沙尔利格镇;在东北部的图克镇和乌兰什巴台乡,中部的嘎鲁图苏木和达布察克镇的部分地区,植被覆盖度也较高,对照土地利用/覆盖分类图,还可以发现草地区域的相关性比乔木林地和耕地要高,如在纳林河乡和河南乡的大片乔木林地和耕地覆盖区域的相关系数都比较低,这主要是由于这些地区有灌溉条件;在西北部有大片流动沙丘覆盖的地区 NDVI 与降水量的相关系数为负,因为地表基本没有植被覆盖,而在固定沙丘覆盖的区域 NDVI 与降水量的相关性则较高。

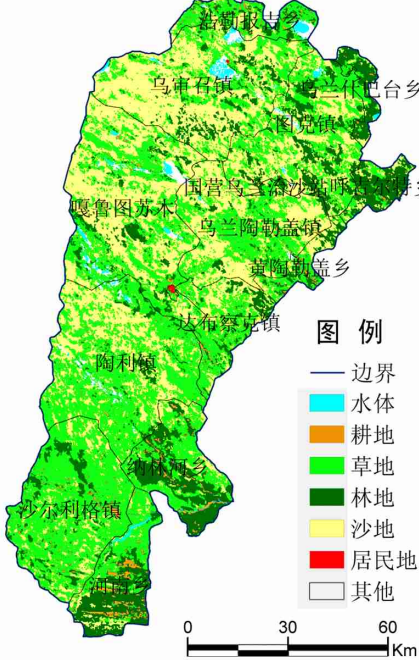


图1 2002年土地利用分类

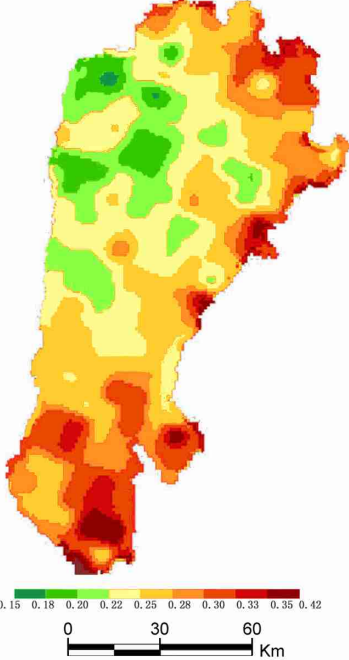


图2 年最大NDVI的平均值分布

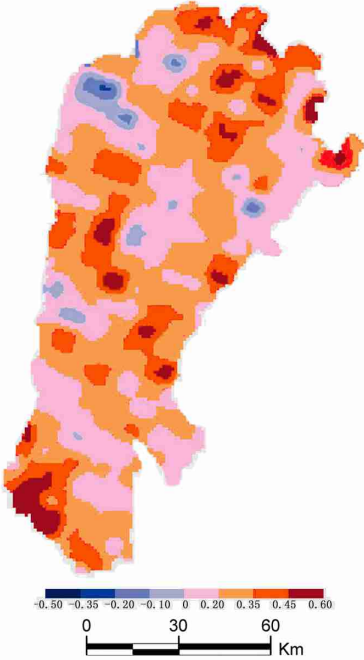


图3 年降水量与年NDVI平均值相关性

年最大 NDVI 可以较好地反映该年度植被长势最好季节地表的植被覆盖程度,因此我们求出了 1981 年至 2003 年每年的最大 NDVI 值,来分析该地区植被覆盖度的年际变化。图 4 为 1981 年~2003 年平均年最大 NDVI 的年际变化和乌审旗降水量的变化,从图中可以看出,从 1981 年到 2003 年,年最大 NDVI 在 0.19~0.3 之间变动,且呈总体上升趋势,说明从上世纪 80 年代开始,乌审旗植被覆盖度一直在增加,在 80 年代初的时候,NDVI 平均为 0.21,到 2000 年左右的时候,NDVI 平均值达到了 0.26 左右。1982 年的地表植被覆盖度最低,NDVI 约为 0.19,1994 年地表植被覆盖度最高,NDVI 约为 0.29。由于在半干旱地区,NOAA/AVHRR 的 NDVI 已被发现与降水量有很好的相关性,由上面的分析可知前一年 8 月至当年 7 月的降水量与 NDVI 的平均值有最好的相关性,因为乌审旗年最大 NDVI 多出现在 8 月份,这样,前一年 8 月至当年 7 月的降水量与年最大 NDVI 的相关性也应该最大。因此我们将 1981 年~2003 年的前一年 8 月至当年 7 月的降水量与当年植被的 NDVI 值的年际变化进行比较。

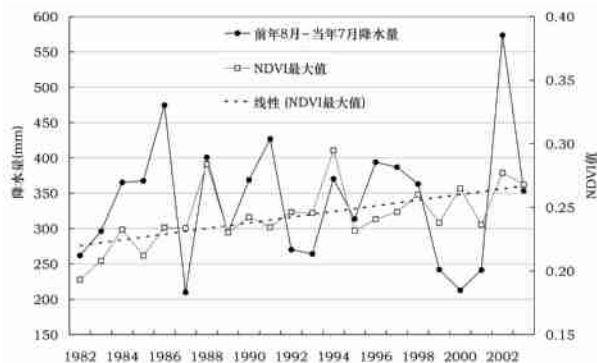


图 4 1981 年~2003 年降水量与最大 NDVI 年际变化的比较

Fig. 4 The comparison between the annual change of precipitation and maximum NDVI

比较两者的变化,可以发现,降水的年际变化与 NDVI 的年际变化总体变化趋势较为相似,如在一些年份两者的增减是具有一致性的,比如 1982 年、1983 年、1984 年、1986 年、1988 年、1994 年、1998 年、2002 年,但有少数年份,降水量增加,植被覆盖度反而降低,如 1991 年;还有些年份降水量显著减少,而植被覆盖度反而增加,如 2000 年,使得 NDVI 值的变化与年降水量的变化不太吻合,而且植被覆盖度降低而降水量增加的一些年份主要是在 80 年代和 90 年代初,这主要是由于在一些地区农垦与过度放牧,

导致植被的破坏,土地沙漠化的结果;而降水量虽然减少,植被覆盖度反而增加则主要发生在近几年,经过分析,这主要是因为耕地面积增加和乌审旗持续植树造林的结果,另外,全旗实行的“蓄草双承包”和围建畜群草库伦等有效的草地管理办法,调动了群众建设草原的积极性,使草库伦的数量和面积增加。

#### 4.3 植被覆盖度变化趋势的空间分布

为了进一步对植被的覆盖度进行动态监测,我们对 23 年的每年最大 NDVI 用线性函数进行拟合,所得到的拟合直线的斜率图反映了 23 年间植被覆盖度变化趋势,如图 5 为乌审旗 23 年的年最大 NDVI 斜率分布图。从图中可以看出,大部分地区的斜率为正,表示该区域植被覆盖度的变化趋势是增加的,主要有两部分,一是在北部的浩勒报吉乡,乌兰什巴台乡,乌审召镇和图克镇,呼吉尔特乡的部分地区,另一部分是在纳林河乡和河南乡;最大 NDVI 斜率为负表示植被覆盖度的变化趋势是减小的,主要分布在乌审旗中部嘎鲁图苏木和乌兰陶勒盖镇交接处,陶利镇和达布察克镇交接处以及陶利镇和纳林河乡,沙尔利格镇的交接处,另外在沙尔利格镇的西南角也有分布。最大 NDVI 斜率绝对值越大,表明植被覆盖度变化的趋势越明显。

最大 NDVI 的斜率反映了 23 年植被覆盖度的整体的变化趋势,而绝对变率反映出植被覆盖度年际间的变化强度,因此,我们求算出了植被的年际之间的绝对变率(图 6)。结果显示,植被覆盖率变率较小的区域主要分布在西北部乌审召镇的西北部,中部的嘎鲁图苏木的西北和东部,以及乌兰陶勒盖与其他乡镇交接处,陶利镇内也有分布;变率大的区域则主要在纳林河乡,河南乡以及沙尔利格镇的西北和图克镇的部分区域。

结合植被覆盖度的变化趋势和变率图,大部分植被覆盖度减少的区域的变率较小,而增加的区域变率较大,只有在陶利镇和沙尔利格镇的交接处,植被覆盖率减少,而且变率较大。

#### 4.4 植被变化类型分析

为了对植被覆盖变化的类型进行分析,我们选择了 1986 年、1994 年高分辨率的 TM 和 2002 年的 ETM+ 数据,利用主成分分析方法分析了这 3 年间的植被覆盖的变化。根据实地调查数据和以往土地利用与覆盖现状图分析,监测精度在 75% 左右。

如图 7 所示,在 1986 年~1994 年的地表覆盖类型变化中,Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ区域为植被覆盖度增大区域,Ⅱ



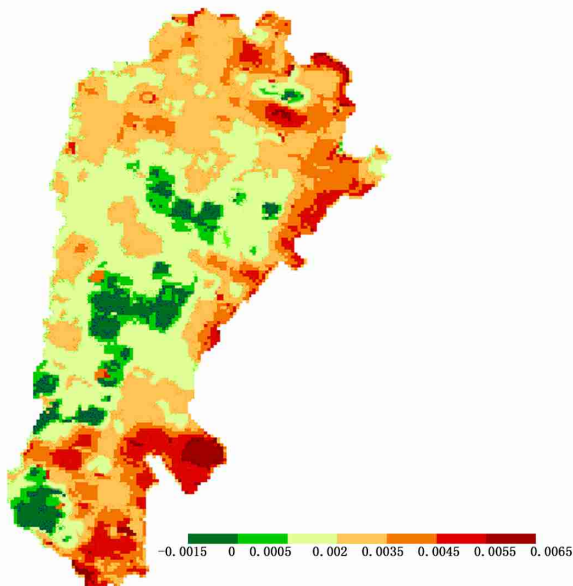


图5 1981年---2003年乌审旗最大NDVI斜率分布  
Fig.5. The maximum NDVI slope from 1981 to 2003

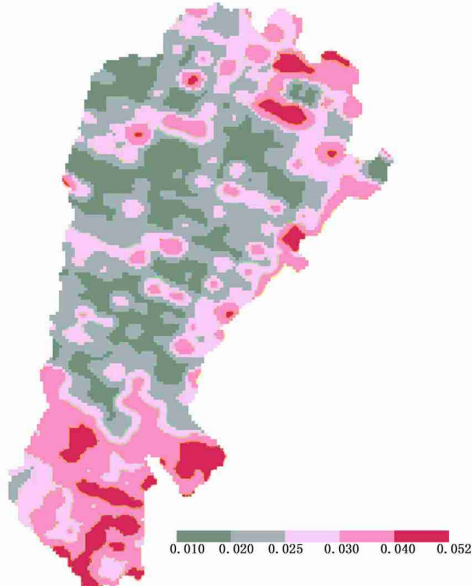


图6 植被覆盖度的年际变率分布  
Fig.6. Mean absolute deviation of maximum NDVI

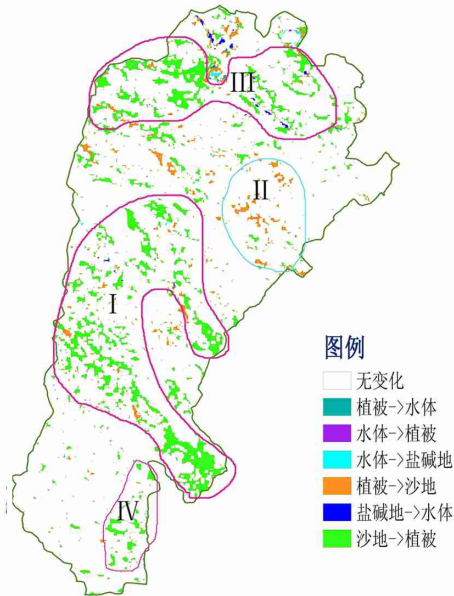


图7 1986年---1994年土地利用/土地覆盖变化  
Fig.7 Land use/cover change from 1986 to 1994 in Wushen

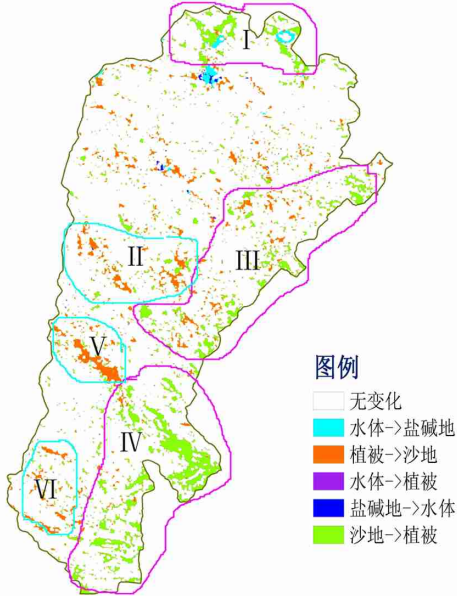


图8 1994年---2002年土地利用/土地覆盖变化  
Fig.8 Land use/cover change from 1986 to 1994 in Wushen

区域为植被覆盖度减小区域;图 8 的 1994 年~2002 年地表覆盖类型变化中, I, III, IV 区为植被覆盖度增大区域, II, V, VI 区为植被覆盖度减小区域。结果显示,在各种植被与其他覆盖类型的转化中,沙地转变为植被的变化占最大比例,在 1986 年~1994 年的转变中,占了所有变化的 67.61%,1994 年~2002 年的转变中,占总变化的 56.43%;其次的转变类型为植被向沙地的转变,在 1986 年~1994 年的转变中,占总变化的 26.48%,1994 年~2002 年的转变中,占总变化的 38.81%,另外,在丰水年和欠水年,

由于水体面积的变化,引起植被与水体覆盖之间的转化,比例很小。

另外,在植被覆盖度变化的空间分布上,由 TM 监测的结果也与 GIMMS NDVI 数据监测结果基本一致。虽然从 1986 年~1994 年的植被在中部的嘎鲁图苏木和乌兰陶勒盖镇交接处,陶利镇和达布察克镇交接处以及陶利镇和纳林河乡,沙尔利格镇的交接处,以沙地转变为植被为主,但在 1994 年~2002 年的转变中,则是以植被转变为沙地为主,而且绝对数量较多,因而从 1986 年~2002 年,该区域还是植

被覆盖度减小的区域;其余植被转变为沙地的区域与 GIMMS NDVI 监测到的植被覆盖度增大区域一致。

植被覆盖度变化主要是由于气候的变化和人为因素两方面的原因引起的。从 1986 年~1994 年的变化监测图上可以看出大部分区域植被覆盖度都是在增加的,而这 8 年间的降水也是较为丰裕的,而在 1994 年~2002 年的变化监测图中,乌审旗西部大多是覆盖度减少的,因为这 8 年降水趋于减少,而且出现了 2000 年和 2001 年降水的极低值,再加上毛乌素沙地气温逐渐升高(平均每 10 年约升高  $0.10^{\circ}\text{C}$ ),气候有干旱化倾向<sup>[13]</sup>,有利于荒漠化发展;另外,乌审旗的沙漠分布在西北部,冬春季受蒙古气旋高压控制,多吹西北风,频繁出现的起沙风( $>5\text{m/s}$ )与干旱季节同步<sup>[14]</sup>,无疑为风沙活动和运移创造了动力条件,导致了乌审旗中西部植被覆盖度降低,然而在远离沙漠的东部,北部边缘以及东南部植被覆盖度是在持续增加的。因此,可以看出三北防护林的建设以及乌审旗多年来的植树造林,以及飞播,围建畜群草库伦等草场建设和管理的措施是很有成效的,植被覆盖度总的趋势是在增加的。

## 5 结论

(1)对于植被覆盖度与降水量的相关关系的研究表明,对当年植被覆盖度影响最大的是前一年 8 月至当年 7 月的降水量,且在地表覆盖为各种类型的植被的区域,降水量与 NDVI 的相关性很高,特别是在草地为主的覆盖类型,降水量与 NDVI 的相关性达到了 0.45 以上;而在地表覆盖为流动沙丘的区域,两者的相关性很小,甚至为负。研究区 1981 年~2003 年的植被覆盖度的变化与前一年 8 月至当年 7 月的总降水量的年际变化的趋势基本一致,少数年份具有差异,人为活动的影响是这些差异产生的主要原因。

(2)植被覆盖度减小的地区主要分布在研究区的中部,其余的大部分地区最大 NDVI 为正,植被覆盖度的变化趋势是在增大的,植被覆盖度的变化强度最大的区域主要分布在河南乡,纳林河乡的部分地区,而且该区域也是植被覆盖度增加区域;变化强度较小的区域为主要分布在西北部乌审召镇,嘎鲁图苏木以及陶利镇境内,而植被覆盖度减小的区域基本包括其中。

(3)由 TM 和 ETM+数据的监测结果表明,这 23 年间植被覆盖度的增加主要是由沙地向植被转化引

起的,而植被覆盖度的减少主要是由植被向沙地转化引起的。虽然这 23 年间气候变化是有利于沙漠化的扩大,但三北防护林的建设以及乌审旗多年来的植树造林,以及飞播,围建畜群草库伦等草场建设和管理等人为的积极影响使得植被覆盖度的总的趋势是增加的。

## 参考文献 (References):

- [1] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003. 366 ~ 408. [ ZHAO Ying-shi. Analysis Principium and Methods of Remote Sensing Application[M]. Beijing: Science Press, 2003. ]
- [2] Banair A. et alv. A review of vegetation indices[J]. *Remote Sens. Review*, 1995, 13: 95~120.
- [3] Huiqing Liu. Alfredo Huete. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1995, 33(2): 457~465.
- [4] 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.
- [5] Gallo K. P. & Daughtry C. S. T. Differences in vegetation indices for simulated Landsat-5 MSS and TM, NOAA-9 AVHRR, and SPOT-1 sensor systems[J]. *Remote Sens. Environ.*, 1987, 23: 439~452.
- [6] 孙睿, 刘昌明, 朱启疆. 黄河流域植被覆盖度动态变化与降水的关系[J]. *地理学报*, 2001, 56(6): 667~672. [SUN Rui, LIU Chang-ming, ZHU Qi-jiang. Relationship between the fractional vegetation cover change and rainfall in the Yellow River Basin [J]. *Journal of Geography*, 2001, 56(6): 667~672.]
- [7] Schmidt H. Gitelson A. Temporal and spatial vegetation cover changes in Israeli transition zone: AVHRR-based assessment of rainfall impact[J]. *Int. J. Remote Sensing*, 2000, 21: 997~1010.
- [8] 王长耀, 牛铮, 唐华俊, 等. 对地观测技术与精细农业[M]. 北京: 科学出版社, 2001. [WANG Chang-yao, NIU Zheng, TANG Hua-jun, et al. Earth Observation Technology and Refined Agriculture[M]. Beijing: Science Press, 2001. ]
- [9] 乌审旗志编撰委员会. 乌审旗志[M]. 内蒙古: 内蒙古人民出版社, 2001. [Compilation Group of Wushen Chorography. Wushen Chorography[M]. Inner Mongolia: Inner Mongolia People's Press, 2001.]
- [10] Tucker, C. J., M. E. Brown, R. Mahoney, S. O. Los, N. El Saleous and E. Vermote. The Global Inventory Mapping and Monitoring 1981 ~ 2003 AVHRR 8-Km Dataset [M]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, in revision, 2003.
- [11] Pilon P G. Howarth P J. Bullock R A. An enhanced classification approach to change detection in semiarid environment [J]. *Photogram Eng Remote Sensing*, 1988, 54: 1709~1716.
- [12] 杨胜天, 刘昌明, 孙睿. 黄河流域干旱状况变化的气候与植被特征分析[J]. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 136~141. [YANG

- Shengtian, LIU Chang-ming, SUN Rui. Droughty change climate and vegetation characteristics analysis in the Yellow River Basin[J]. *Journal of Nature Resource*, 2003, 18(2):136~141.]
- [13] 吴波,慈龙骏. 毛乌素沙地荒漠化的发展阶段和成因[J]. 科学通报, 1998, 42(22):2 437~2 440. [WU Bo, CI Long-jun. The developing phases and causes of desertification in Maowusu sandy land [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1998, 42(22):2 437~2 440.]
- [14] 吴薇. 毛乌素沙地沙漠化过程及其整治对策[J]. 中国生态农业学报, 2001, 9(3):15~18. [WU Wei. Desertification process and its controlling countermeasures in Maowusu sandy land in China[J]. *Chines Journal of Eco-Agriculture*, 2001, 9(3):15~18.]

## Dynamics of Vegetation Cover and Its Relationship with Rainfall in Wushen County of Inner Mongolia

YU Xiao-fei<sup>1</sup>, SUN Rui<sup>1</sup>, CHEN Yong-jun<sup>1</sup>, LIU Shao-min<sup>1</sup>, ZHOU Hui-zhen<sup>1</sup>, ZHANG Zhong-shan<sup>2</sup>

(1. School of Geography, Beijing Normal University, State key Laboratory of Remote Sensing Science, Beijing Key Laboratory for Remote Sensing of Environment and Digital Cities, Beijing 100875, China;

2. Wushen County Forestry Bureau, Exploitation and Repair Study Center of the Muus Sandland, Wushen County 017300, China)

**Abstract:** The dynamic change of 23-years vegetation cover in Wushen County of Inner Monggulia was analyzed using NASA GIMMS (Global Inventory Modeling and Mapping Studies) Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data set. The average value of annual max NDVI in latest five years and the slope of annual max NDVI were used to analyze the vegetation distribution in Wushen County during the last 23 years. Mean absolute deviation of maximum NDVI was also used to study the change intensity of the vegetation cover. The high-resolution images- Landsat TM data of the year 1986 and 1994 and ETM+ data of 2002 were used to find the change patterns of vegetation in Wushen County. The influence of rainfall on vegetation cover in Wushen County was explored through correlation analysis between annual rainfall and annual maximum of NDVI. The result shows that, the change of the vegetation cover in the last 23 years is consistent with the change of rainfall. The annual maximum of NDVI is significantly related to the rainfall during August to July of second year. The significance of correlation in grassland and shrub forest is higher than in cropland and arboreal forest. The lowest rate of vegetation cover is in desert area of northwestern Wushen County; the highest is in cropland in the southwest of the county. Generally human activities have been promoting the increase of vegetation cover. But in some areas the vegetation cover presents a trend of decrease due to dry weather.

**Key words:** Vegetation cover; Vegetation index; NDVI; Rainfall; Climate change