

# 2001年-2012年毛乌素沙地荒漠化过程及驱动力研究

柏 菊<sup>1</sup>, 闫 峰<sup>2</sup>

(1. 南京审计大学管理科学与工程学院, 江苏 南京 211815)

(2. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091)

**[摘要]** 毛乌素沙地地处我国农牧交错带, 生态环境具有较强的敏感性和脆弱性。采用 MODIS 图像、气象和社会经济等数据对 2001 年-2012 年毛乌素沙地的荒漠化过程及驱动力进行了研究, 主要得出以下结论: ①2001 年-2012 年毛乌素沙地极严重荒漠化和重度荒漠化面积总体呈下降趋势, 中度荒漠化和轻度荒漠化面积呈上升趋势。②毛乌素沙地年平均气温以  $0.0449^{\circ}\text{C/a}$  的速率呈显著增加趋势, 温度和降水的增加对自然荒漠化逆转极为有利。③人口、耕地面积、牲畜数量和经济的快速发展对毛乌素沙地施加了较大的压力, 但人口素质的提高、生产结构的调整以及积极政策的实施对毛乌素沙地的逆向演替起到了积极的作用。

**[关键词]** 毛乌素沙地, 荒漠化, 驱动力

**[中图分类号]** F205 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2016)01-0132-07

## Process of Desertification and Its Driving Forces in the MuUs Sandy Land in 2001-2012

Bai Ju<sup>1</sup>, Yan Feng<sup>2</sup>

(1. School of Management Science and Engineering, Nanjing Audit University, Nanjing 211815, China)

(2. Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract:** The MuUs Sandy Land locates in ecotone between cropping and nomadic area in China and its ecological environment has a strong sensitivity and vulnerability. Using MODIS images, meteorological and socio-economic data from 2001 to 2012, the paper studied the process of desertification and its driving forces in the MuUs Sandy Land and mainly drew the following conclusions: ①In 2001-2012 in the MuUs Sandy Land, the very severe and severe desertification areas showed overall downward trends, while moderately and mild desertification areas showed overall upward trends. ②Average temperature in the MuUs Sandy Land increased at  $0.0449^{\circ}\text{C/a}$  and the temperature and precipitation were extremely beneficial to the reversed desertification. ③Population, agricultural acreage, livestock numbers and the rapid economic development had more pressures on the MuUs Sandy Land, while the improvement of population quality, adjustment of production structure and the active policies played positive effects on desertification variations in the MuUs Sandy Land.

**Key words:** the MuUs Sandy Land, desertification, driving force

21 世纪以来, 随着经济和社会进一步发展, 人类对地球表层系统的干预达到了新的水平, 在社会文明巨大进步的同时也伴生了一系列严重的生态文明问题, 如土地荒漠化、水土流失、环境污染等。荒漠化是指包括气候变异和人类活动在内的种种因素造成的干旱、半干旱和亚湿润干旱地区的土地退化, 对当地的经济发展和人民生活水平的提高具有极大的抑制作用, 是影响 21 世纪人类可持续发展最重要的灾害之一。我国是世界上受荒漠化影响最为严重的国家之一, 据 2015 年国家林业局公布的《中国

收稿日期: 2015-03-26.

基金项目: 江苏省审计信息工程重点实验室开放课题(AIE201201)、江苏省高校自然科学基金面上项目(15KJB520020)、国家自然科学基金金青年项目(71201086)、国家社会科学基金(14BJY016)。

通讯联系人: 闫峰, 博士, 副研究员, 研究方向: 遥感和灾害学. E-mail: njuyf@163.com

荒漠化和沙化状况公报》显示:截至 2014 年底,全国荒漠化土地总面积 261.16 万  $\text{km}^2$ , 占国土面积的 27.20%<sup>[1]</sup>. 毛乌素沙地是我国荒漠化严重地区,也是荒漠化研究的重点区域. 该地位于我国北方农牧交错带的中部,处于森林-草原-荒漠的生态应力带上,是我国重要的生态屏障区,其生态环境具有较强的敏感性和脆弱性<sup>[2]</sup>.

广大学者对毛乌素沙地荒漠化过程和驱动力做了一定的研究,吴薇等利用 1987 年和 1993 年春季 TM 数据开展了毛乌素沙地沙漠化土地的动态监测,指出沙漠化主要是人类造成的且也只有人类能够控制<sup>[3]</sup>;房世波等通过对 20 世纪 80 年代、90 年代、2000 年 3 个时期遥感图像,分析了毛乌素沙地沙漠化过程及其驱动机制<sup>[4]</sup>;吴晓旭等以乌审旗 1986、1991、1996、2000 和 2005 年 TM 影像为主要数据源,对乌审旗景观空间格局的动态变化特征及其演变的驱动因素进行了研究<sup>[5]</sup>. 已有研究在毛乌素沙地荒漠化过程方面做了一定的工作,但同时也存在研究时间不连续以及驱动力因素分析单一等问题,这种以时间片段代替整个时段容易产生较大的误差. 21 世纪以来,毛乌素沙地地区的经济得到了快速发展,在全球变暖的气候背景下人类活动叠加的扰动作用使毛乌素沙地土地覆被特征发生了较大的变化,全面分析其沙地覆被特征能够较好地认识毛乌素沙地荒漠化的发生发展过程. 因此本文采用 MODIS 地表覆盖类型产品 MCD12Q1 和植被覆盖度相结合的方法对 2001 年-2012 年毛乌素沙地的荒漠化过程进行分析,并结合气温、降水量等气象和社会经济数据对毛乌素沙地的荒漠化驱动力因素进行综合研究,为科学实现荒漠生态系统的可持续发展提供理论支持.

## 1 研究区概况与研究数据

### 1.1 研究区概况

毛乌素沙地位于  $37^{\circ}27'N\sim39^{\circ}22'N$ ,  $107^{\circ}20'E\sim111^{\circ}30'E$  之间,包括内蒙古自治区鄂尔多斯市的南部、陕西榆林地区的北部榆阳风沙区和宁夏回族自治区盐池县东北部,总面积约为  $4\times10^4\text{ km}^2$  (图 1). 海拔多为 1 100 m~1 300 m,西北部稍高为 1 400 m~1 500 m,个别地区可达 1 600 m 左右,东南部河谷低至 950 m. 气候类型为中温带向暖温带过渡地带,多年平均气温为  $6.0\sim8.5^{\circ}\text{C}$ ,多年平均降水量为 250~440 mm. 降水在时间分布上主要集中于 7 月~9 月,占全年降水 60%~75%,尤以 8 月为多;降水在空间分布上具有自东南向西北递减的特征,东部年降水量达 400 mm~440 mm,西北部降水量为 250 mm~300 mm. 毛乌素沙地的植被和土壤反映出过渡性特点,除向西北过渡为棕钙土半荒漠地带外,向西南到盐池一带过渡为灰钙土半荒漠地带,向东南过渡为黄土高原暖温带灰褐土森林草原地带. 土地利用类型复杂,不同利用方式交错分布,其中农牧业用地比重较大.

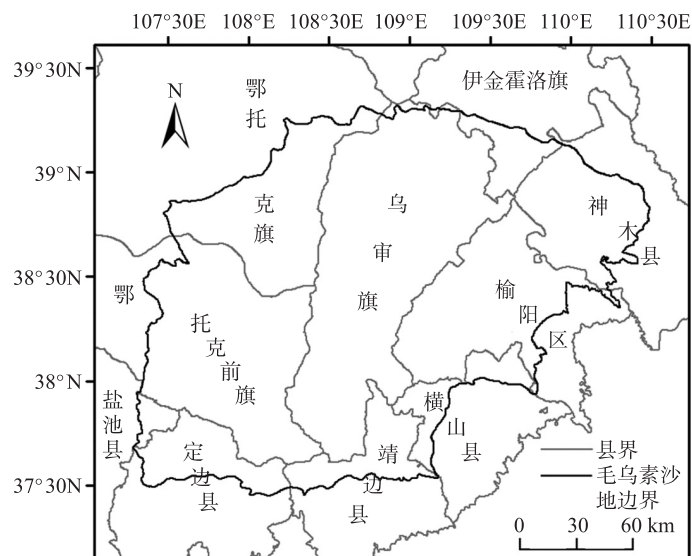


图 1 毛乌素沙地分布示意图

Fig.1 Sketchmap of the MuUs Sandy Land

## 1.2 研究数据

采用 NASA 提供的 2001 年-2012 年植被生长季(3 月-10 月)MOD13Q1(编号:049-289)和 MCD12Q1 陆地标准数据产品. MOD13Q1 植被指数产品的空间分辨率为 250 m×250 m,时间分辨率为 16 d. MCD12Q1 土地覆盖类型产品的空间分辨率为 500 m×500 m,时间分辨率为 1 a. 对订购的 MODIS 数据产品利用 MRT 工具进行图幅拼接和投影转换,采用的投影类型为 Albers 等积割圆锥投影(Krasovsky 椭球体,中央经线为 105°E,双标准纬线分别为 25°N 和 47°N),最终获得可为下文直接使用的植被指数、土地利用和覆被变化产品. 在众多类型的植被指数中,归一化植被指数 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)仍是目前应用最为广泛的植被指数<sup>[6]</sup>,但是由于 NDVI 算式本身并非线性,在实际应用中容易造成植被指数高估和低估的问题. Liu 等构建的增强型植被指数 EVI(Enhanced Vegetation Index)较好地解决 NDVI 的红光饱和、土壤和大气噪声的影响<sup>[6,7]</sup>. EVI 的计算公式为

$$EVI = G \times \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + C_1 \times \rho_{Red} - C_2 \times \rho_{Blue} + L}, \quad (1)$$

其中, $\rho_{NIR}$ 、 $\rho_{Red}$ 和 $\rho_{Blue}$ 分别为 MODIS 的近红外波段、红光波段和蓝光波段的光谱反射率; $L$ 为背景调整项; $C_1$ 和 $C_2$ 为拟合系数; $G$ 为增益因子;计算 MODIS-EVI 时, $L=1$ , $C_1=6$ , $C_2=7.5$ , $G=2.5$ <sup>[7]</sup>. 毛乌素沙地地表流动沙地、半流动沙地、固定沙地广布,为减少研究区 NDVI 的红光饱和、土壤和大气噪声的影响,本文选用 MODIS-EVI 数据进行毛乌素沙地植被生长时空特征研究,对 2001 年-2012 年每年的 EVI 序列采用国际通用的最大值合成法 MVC(Maximum Value Composite)进行运算处理,最终获得 2001 年-2012 年 EVI 最大值序列图.

此外,研究中还采用了 1960 年-2012 年乌审旗的气温、降水量等气象数据和社会经济数据,气象数据来源于中国气象科学数据共享服务网;社会经济数据主要来源于 2001 年-2012 年《内蒙古统计年鉴》.

## 2 荒漠化过程

### 2.1 土地覆被提取

在对毛乌素沙地不同荒漠化程度荒漠化土地面积提取中,采用 MODIS 地表覆盖类型产品 MCD12Q1 和植被覆盖度相结合的方法. 首先利用 MCD12Q1 产品实现毛乌素沙地非荒漠化土地提取. MCD12Q1 产品主要包括 5 个分类方案:国际地圈生物圈计划(IGBP)全球植被分类方案、马里兰大学(UMD)植被分类方案、MODIS 提取叶面积指数/光合有效辐射分量(LAI/FPAR)方案、MODIS 提取净第一生产力(NPP)方案和植被功能型(PFT)分类方案. 本研究采用国际地圈生物圈计划(IGBP)全球植被分类方案,对毛乌素沙地提取出水体、作物等非荒漠化地物类型,对荒漠化地区则采用植被盖度指标进行不同荒漠化程度划分.

植被盖度指某一地域植物垂直投影面积与该地域面积之比,是用于干旱和半干旱地区特点的土地退化和荒漠化的重要参数<sup>[8]</sup>,表示为

$$FVC = (NDVI_{max} - NDVI) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}), \quad (2)$$

其中,FVC 为地表覆盖度,介于 0~1 之间; $NDVI_{max}$ 和 $NDVI_{min}$ 分别表示研究区的最大和最小植被指数. 对于 EVI 数据,FVC 则可以表示为

$$FVC = (EVI_{max} - EVI) / (EVI_{max} - EVI_{min}). \quad (3)$$

把 2001 年-2012 年 MOD13Q1 代入公式(3)计算 FVC. 在不同荒漠化程度土地类型划分方面,根据中国北方荒漠化过程及其防治研究运用的分类系统以及荒漠化和沙化监测技术规定,对于以半干旱气候区为主体的毛乌素沙地,对其荒漠化土地按照沙化程度分为轻度荒漠化( $FVC > 40\%$ )、中度荒漠化( $25\% < FVC \leq 40\%$ )、重度荒漠化( $10\% < FVC \leq 25\%$ )和极重度荒漠化( $FVC \leq 10\%$ )4 种类型<sup>[9]</sup>.

### 2.2 荒漠化过程

采用 MCD12Q1 产品提取出水体、作物和城镇面积,对毛乌素沙地掩膜去除水体、作物和城镇地物类型后的荒漠化土地按极重度、重度、中度和轻度的荒漠化划分体系,实现毛乌素沙地不同荒漠化程度土地面积提取(表 1). 分析 2001 年-2012 年毛乌素沙地荒漠化面积变化结果,可以发现荒漠化的土地总面积呈逐渐减少的趋势,其中以 2006 年荒漠化土地面积最大为 38 253.13 km<sup>2</sup>,2011 年荒漠化面积最少为

37 939.13 km<sup>2</sup>. 作为衡量荒漠化严重程度重要指标的极重度和重度荒漠化土地面积之和在 2001 年为 25 349.82 km<sup>2</sup>, 为 2001 年–2012 年最大值, 2008 年次之(17 633.50 km<sup>2</sup>), 2012 年相对最低(7 747.19 km<sup>2</sup>), 仅为荒漠化最严重年份的 30.56%. 中度荒漠化面积以 2010 年最大(20 419.75 km<sup>2</sup>), 2001 年最少(9 520.75 km<sup>2</sup>), 轻度荒漠化面积以 2012 年最大(14 840.25 km<sup>2</sup>), 2001 年最少(3 264.75 km<sup>2</sup>).

表 1 2001 年–2012 年毛乌素沙地不同荒漠化程度土地面积

Table 1 Areas of different types of desertification land in the MuUs Sandy Land in 2001–2012

km<sup>2</sup>

年份	非荒漠化			荒漠化			
	水体	作物	城镇	极重度荒漠化	重度荒漠化	中度荒漠化	轻度荒漠化
2001	31.500	220.125	97.250	1 671.375	23 678.438	9 520.750	3 264.750
2002	35.000	121.750	97.250	824.563	12 126.563	14 543.000	10 736.063
2003	42.500	91.625	97.250	301.813	13 803.625	16 700.063	7 447.313
2004	41.000	109.938	97.250	409.125	13 998.063	16 546.875	7 281.938
2005	39.250	100.688	97.250	419.250	16 112.313	15 060.813	6 654.625
2006	32.500	101.313	97.250	463.938	15 906.750	16 064.938	5 817.500
2007	32.500	111.375	97.250	244.563	11 026.875	16 659.500	10 312.125
2008	34.250	132.000	97.250	491.813	17 141.688	14 175.063	6 412.125
2009	31.000	266.250	97.250	225.188	9 924.875	16 806.188	11 133.438
2010	31.000	254.875	97.250	187.125	9 966.438	20 419.750	7 527.750
2011	27.250	420.563	97.250	168.375	10 471.000	17 114.500	10 185.250
2012	28.750	391.000	97.250	216.500	7 530.688	15 379.750	14 840.250

### 3 驱动力分析

荒漠化的发生和发展是自然因素和人文因素综合作用的过程, 驱动因子的变化直接或间接地影响到荒漠化过程的演替. 开展毛乌素沙地荒漠化过程的驱动力研究, 对于全面了解沙地荒漠化与驱动力之间的作用关系, 科学调控沙地生态系统人地关系、合理开展沙地荒漠化防治工作以及实现沙地生态系统的可持续发展具有重要意义<sup>[10]</sup>. 在毛乌素沙地生态系统驱动力分析中, 乌审旗位于沙地腹地, 其荒漠化过程及经济社会数据具有较好的代表性, 因此本文将以乌审旗自然、气象和社会经济数据为代表分析毛乌素沙地荒漠化过程的驱动力对荒漠化过程的影响.

#### 3.1 自然因素

荒漠化的发生除了受地面物源的影响外, 自然外力作用尤其是降水和温度是影响荒漠化发生和发展的重要因素<sup>[11]</sup>. 分析 1960 年–2012 年期间毛乌素沙地年平均气温和年平均降水量变化图(图 2), 结果表明: 1960 年–2012 年年平均气温以 0.044 9 °C/a 的速率显著增加. 气温的升高增加了地表蒸发, 使冬春季节原本覆盖较少的地面蒸发量加大, 加剧干旱化趋势, 对沙地荒漠化的发生发展有一定的促进作用; 但温度升高的同时可以延长植物的生长期, 春季牧草返青早, 冬季枯萎慢, 对荒漠化的发生发展有抑制作用<sup>[12]</sup>. 因此, 仅从气温变化的角度来分析毛乌素沙地荒漠化的趋势并不全面, 还需结合降水因素. 经分析, 随着温度的增加降水量总体有增加的趋势(相关系数  $r=0.15$ , 假设检验  $P<0.001$ ), 在全球变暖的背景下降水是影响荒漠化过程的最重要因素之一.

分析研究期间降水和荒漠化变化之间的关系(图 3), 结果表明 2001 年–2012 年期间, 毛乌素沙地降水量的波动与极重和重度荒漠化面积之和总

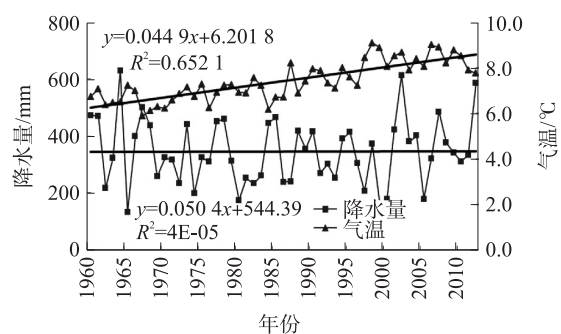


图 2 近 50 年毛乌素沙地气温和降水量变化

Fig 2 Variations of annual precipitation and average temperature in the MuUs Sandy Land over the past 50 years



体上呈负相关关系.2001年降水量高于年均降水量7%,极重和重度荒漠化面积为25 350 km<sup>2</sup>,高于年均面积82%,是研究期间面积最大值.考虑到降水和植物吸收之间存在一定的滞后性,降水量与荒漠化面积之间的关系分析还应考虑前一时段降水量的影响.2000年降水量为178.8 mm,低于年均降水量的55%,持续的干旱对2001年的荒漠化面积的扩大起到了巨大的促进作用.2002年降水量为613.6 mm,高于平均降水量的54.9%,是1964年以来降水极大值.相应地,2002年毛乌素沙地荒漠化迅速逆转,极重和重度荒漠化比例相对于2001年分别降低了2.23%和30.37%.2003年-2004年,降水量降至年均降水量水平,极重和重度荒漠化面积略高于平均面积并有扩大趋势.2005年降水量178.4 mm,低于年均降水量的55%,为研究期间降水量最少年,相应地,极重和重度荒漠化面积高于年均面积的19%,为研究时段内除了2001年外的最高年;2006年降水量320.3 mm,低于年均降水量的19%,极重和重度荒漠化面积高于年均面积的19%和17%.2007年降水量增加了52%达到485.5 mm,极重和重度荒漠化面积显著下降了31%达到5 099.25 km<sup>2</sup>,低于年均面积19%.2009年-2011年毛乌素沙地降水和极重和重度荒漠化面积趋于稳定.2012年降水量显著增加达到587.1 mm,高于年均降水48%,相应的极重和重度荒漠化面积显著减少达到7 747 km<sup>2</sup>,低于年均面积的44%,为研究期间最小的一年.综上,温度和降水的增加有利于植被的恢复和流沙的固定,对乌审旗自然荒漠化逆转极为有利.同时数据显示,2008年降水量略低于年均降水量的5%,但是极重和重度荒漠化面积却高于平均面积的26%,这说明除了降水自然因素,还有人文因素影响着毛乌素沙地荒漠化面积的变化.

### 3.2 人文因素

荒漠化发展是人为因素与自然因素共同作用的结果.人类不合理的经济活动加速了荒漠化发展;同时人类也通过经济、政策和法律等措施约束和改变人们的不当行为,控制和改善着荒漠化的发生和发展<sup>[13]</sup>.人口、农作物播种面积、粮食产量、GDP等因素对毛乌素沙地荒漠化的发展具有重要影响.

(1)人口因素.人口规模是人类社会经济因素中最主要的因素,也是影响研究区域荒漠化过程最具有活力的驱动因素之一.根据2001年-2012年乌审旗人口因素变化(图4),2001年乌审旗年末总人口9.392 8万人,2012年增加到10.879 7万人,平均以1 600人/年的速度增加;2001年乌审旗人口密度为8.07人/km<sup>2</sup>,2012年人口密度增为9.34人/km<sup>2</sup>,根据联合国1977年在内罗毕召开的沙漠化会议标准,半干旱区土地对人口的承载极限为20人/km<sup>2</sup>,乌审旗的人口密度远低于半干旱区人口密度的临界值.人口的增加将伴随着快速增长的粮食、燃料和畜产品需求,加剧了土地资源利用的压力,农业向脆弱生态带扩张,使潜在荒漠化的土地演化为正在发展中的荒漠化土地.另一方面,乌审旗乡村人口数由2010年的79 896人减至2012年的50 154人,年均以2 657人/年的速度减少;而高中生在校人数,由2001年1 383人增至2012年的1 672人,年均增长率1.74%,人口结构的优化和素质的提高可以减轻人类活动对生态系统的压力,有利于植被恢复,在一定程度上缓解乌审旗乃至整个毛乌素沙地的荒漠化程度.

(2)农作物总播种面积和粮食产量.农作物总播种面积和粮食产量也是区域荒漠化程度的重要驱动力.根据2001年-2012年乌审旗的人均粮食产量和人均农作物总播种面积变化(图5),乌审旗人均粮食产量由0.97 t上升为1.32 t,增加了1.36倍;人均农作物总播种面积由0.24 hm<sup>2</sup>上升为0.4 hm<sup>2</sup>,增长了1.67倍,可见人均粮食产量的增长超过人口增长的速度.同时农作物耕地面积也以更快速度在扩大,满足了人口增长对粮食的需求.人均粮食产量的高增速,很大程度上来源于乌审旗区注重对基本农田的养护和投入;而耕地面积的变化除了撂荒地和碱滩地的重新开垦耕种所转入的耕地,还包括了一部分由政府政策所引起的退耕还林(草)的转出.另一方面,农田生产力的迅速提高,丰富了养殖业的秸秆来源,这在一定程度上缓解了毛乌素沙地的荒漠化程度.

(3)牲畜存栏头数.牲畜存栏头数的增减在一定程度上影响着乌审旗沙地草场的承载压力,进而影响到区域的荒漠化程度.根据2001年-2012年乌审旗年末牲畜存栏头数变化(图6),2001年乌审旗的牲畜

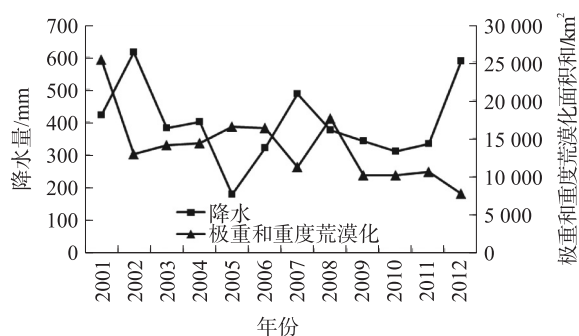


图3 2001年-2012年降水量与极重和重度荒漠化面积和变化

Fig 3 Variations of annual precipitation and areas of extreme severe and severe desertification in 2001-2012

存栏头数 58.93 万头,平均以 7.0 万头/年的速度增加,到 2012 年达到了 169 万头.牲畜存栏头数的增加在一定程度上缓解了沙区草场的放牧压力,对乌审旗沙地植被的生长状况改善产生了积极的影响,进而改善了乌审旗荒漠化程度.同时随着养殖牛羊的规模不断扩大,牛羊肉的产量和品质不断提高,乌审旗已建成畜牧业基地和设施养羊示范县区,经济与荒漠化治理得到了良性发展.

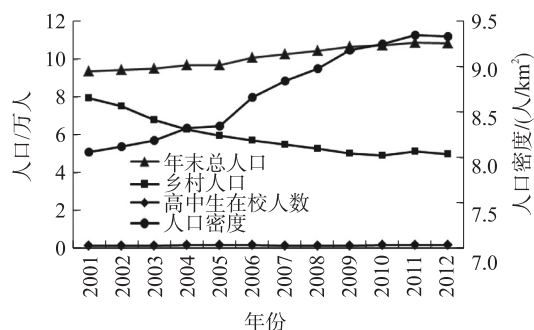


图4 2001年-2012年乌审旗的人口因素变化

Fig4 Changes in demographic factors in Wushen Banner in 2001-2012

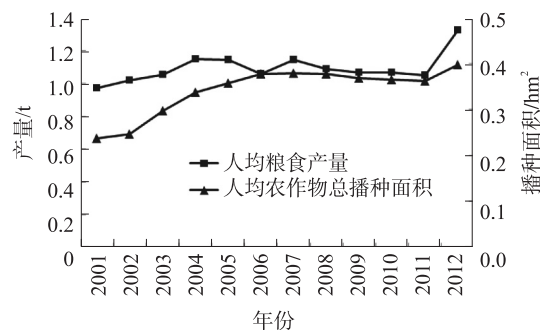


图5 2001年-2012年乌审旗的人均粮食产量和人均农作物总播种面积变化

Fig5 Per capita changes of food production and total crops sown area in Wushen Banner in 2001-2012

(4)GDP 和产业结构.经济发展和产业结构在一定程度上影响着区域的荒漠化水平.本文用国民生产总值(GDP)反映乌审旗经济发展状况的综合指标,用第二产业增加值反映乌审旗的产业结构调整状况(图7).2001年-2012年期间,乌审旗GDP年均增长速率为35.92%,2012年全旗地区生产总值完成310.16亿元,比上年增长19.9%,大于全国11%增长速度,人均生产总值达到28.5万元,一举跻身全国西部23强,乌审旗已经步入快速增长的轨道.同时乌审旗把工业发展作为做大做强县域经济的主体,自2001年以来,乌审旗第二产业增加值以年均48.68%的速度增长,2012年达到240.99亿元,比上年增长23.6%.2012年,乌审旗以“工业项目推进年”为契机,继续实施“工业强旗”战略.经济社会的高速发展为乌审旗促进荒漠化过程治理奠定了物质基础,使人们有坚实的经济实力用于治理和恢复荒漠化土地,同时产业结构的改革促进了传统农牧业的改造和升级,推动了农业现代化进程,在一定程度上改善了荒漠化程度.

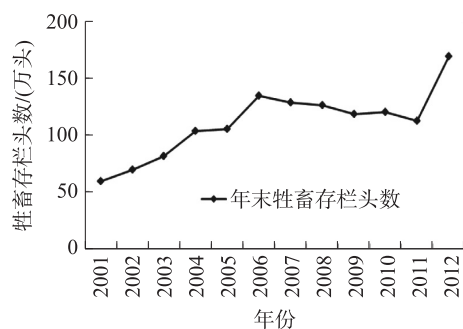


图6 2001年-2012年乌审旗年末牲畜存栏头数变化

Fig.6 Changes of year-end number of livestock heads in Wushen Banner in 2001-2012

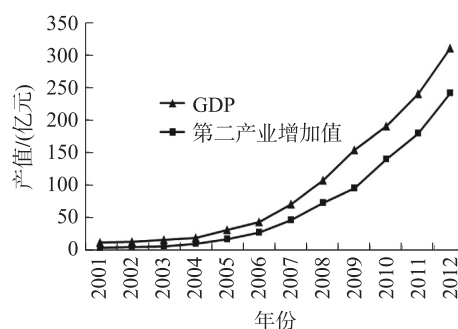


图7 2001年-2012年乌审旗的GDP和第二产业增加值变化

Fig7 Changes of GDP and the secondary industry added value in Wushen Banner in 2001-2012

(5)政策因素.国家和地方政府的政策法规实施很大程度上影响着乌审旗荒漠化过程<sup>[14]</sup>.2000年以来,乌审旗被国家列入长江上游、黄河中上游地区退耕还林(草)工程13个省区、174个试点示范旗县中唯一的沙区试点旗,采取了国家“退耕还林”工程以及飞播造林、沙区封育等生物和工程措施,希望通过对土地利用和经济发展影响乌审旗的荒漠化程度.随着前期政策作用的显现,2002年-2012年荒漠化程度显著低于2001年,尤其是2009年-2011期间,降水量低于年平均降水13%~21%,但荒漠化程度显著减轻,这进一步说明人文因素尤其是积极稳健的政策因素是影响荒漠化发展的重要因素.2008年,乌审旗各园区迎来建设高峰期,如投资7549万元对11.919 km道路进行修建,1.5亿元兴建五星级富荣国际大酒店等,随着距离城市和公路越近越便捷,人类活动强度就越大,乌审旗沙漠化扩展的可能就越大.同时,乌审

旗矿产规划全面启动,矿产资源的发现与进一步开发,对地表植被的覆盖产生了极大的破坏作用,也在一定程度上恶化了荒漠化程度,2008年虽然降水有利,荒漠化程度却加重。2009年,乌审旗降水量比2008年减少9%,极重和重度荒漠化面积却显著减少了42%,与2008年造林力度有关,2008年人工造林、飞机播种与当年封山育林总面积达23 733 hm<sup>2</sup>,是2007年的1.5倍。同时,地方政府的“禁牧、休牧、轮牧”政策使牧区放养的牲畜结构发生变化,山羊数量相对减少,绵羊和猪的数量相对增多,在一定程度上缓解了沙区草场的放牧压力,这些均对乌审旗荒漠化改善产生了积极的作用。另外,随着全旗现代农牧业示范基地的建立,农牧业部门对剩余劳动力通过职业技能培训和组织输出工作,实现了退牧还草的目标。总体看来,2008年以后,在坚持“以人为本,建设绿色乌审”发展理念的指导下,调整完善旗区发展规划,乌审旗荒漠化治理效果好转。2009年-2012年,极重和重度荒漠化面积以年均8.6%的速度递减,中度荒漠化面积以年均2.9%的速度递减,轻度荒漠化面积以年均10.1%的速度递增。积极稳健的荒漠治理政策对毛乌素沙地荒漠生态系统的良性发展、荒漠化治理和生态恢复起到了极大的促进作用。

## 4 结语

采用MODIS影像对2001年-2012年我国乌审旗的荒漠化过程及其主要驱动因子进行了研究,可以得出以下结论:

(1)2001年-2012年毛乌素沙地荒漠化面积逐渐减少,荒漠化程度也呈缓解趋势,其中极严重荒漠化地区和重度荒漠化地区的面积总体呈下降趋势,而中度荒漠化地区和轻度荒漠化地区总体呈上升趋势。

(2)毛乌素沙地年平均气温以0.044 9 °C/a的速率显著增加,随着温度的增加降水量总体有增加的趋势(相关系数 $r=0.15$ ,假设检验 $P<0.001$ ),温度和降水的增加对毛乌素沙地荒漠化逆转极为有利。毛乌素沙地降水量波动性较大,其波动性与极重和重度荒漠化面积之和总体上呈负相关关系。

(3)人口、耕地面积、牲畜数量和经济的快速发展对毛乌素沙地的土地施加了较大的压力,但人口素质的提高、生产结构的调整以及积极政策的实施对毛乌素沙地的逆向演替起到了积极的作用。

## [参考文献]

- [1] 国家林业局. 中国荒漠化和沙化状况公报[R/OL]. [2015-12-29]. <http://www.forestry.gov.cn/main/69/content-831684.html>.
- [2] 闫峰,吴波,王艳姣. 2000~2011年毛乌素沙地植被生长状况时空变化特征[J]. 地理科学, 2013, 33(5): 602-608.
- [3] 吴薇. 近50年来毛乌素沙地的沙漠化过程研究[J]. 中国沙漠, 2001, 21(2): 164-169.
- [4] 房世波,许端阳,张新时. 毛乌素沙地沙漠化过程及其气候因子驱动分析[J]. 中国沙漠, 2009, 29(5): 796-801.
- [5] 吴晓旭,邹学勇. 基于3S的毛乌素沙地腹地景观格局演变及其驱动力分析——以内蒙古乌审旗为例[J]. 中国沙漠, 2010, 30(4): 763-769.
- [6] LIU H Q, HUETE A. 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.
- [7] HUETE A, DIDAN K, MIURA T, et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices[J]. Remote sensing of environment, 2002, 83(S1/2): 195-213.
- [8] XIAO J, MOODY A. A comparison of methods for estimating fractional green vegetation cover within a desert-to-upland transition zone in central New Mexico, USA[J]. Remote sensing of environment, 2005, 98(S2/3): 237-250.
- [9] 闫峰,丛日春. 中国沙地分类进展及编目体系[J]. 地理研究, 2015, 34(3): 455-465.
- [10] 杨永梅,杨改河,冯永忠. 近45年毛乌素沙地的气候变化及其与沙漠化的关系[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(12): 87-92.
- [11] YAN F, WU B, WANG Y J. Estimating above ground biomass in MuUs Sandy Land using landsat spectral derived vegetation indices over the past 30 years[J]. Journal of arid land, 2013, 5(4): 521-530.
- [12] 郭坚,王涛,韩邦帅,等. 近30a来毛乌素沙地及其周边地区荒漠化动态变化过程研究[J]. 中国沙漠, 2008, 28(6): 1017-1021.
- [13] 闫峰,吴波. 近40年毛乌素沙地荒漠化过程研究[J]. 干旱区地理, 2013, 36(6): 836-845.
- [14] YAN F, WU B, WANG Y J. Estimating spatiotemporal patterns of aboveground biomass using landsat TM and MODIS images in the Mu Us Sandy Land, China[J]. Agricultural and forest meteorology, 2015, 200(200): 119-128.

[责任编辑:丁 蓉]