

doi: 10.7522/j.issn.1000-0240.2013.0006

Luo Jun, Xu Duanyang, Ren Hongyan. The desertification dynamics in Ordos from 2000 to 2010 and their relationship with climate change and human activities [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(1): 48-56. [罗君, 许端阳, 任红艳. 2000—2010 年鄂尔多斯地区沙漠化动态及其气候变化和人类活动驱动影响的辨识[J]. 冰川冻土, 2013, 35(1): 48-56.]

2000—2010 年鄂尔多斯地区沙漠化动态及其 气候变化和人类活动驱动影响的辨识

罗 君¹, 许端阳^{2*}, 任红艳³

(1. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044; 2. 中国科学技术信息研究所, 北京 100038;

3. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要: 以 2000—2010 年近 10 a 来鄂尔多斯地区沙漠化过程为研究对象, 在利用 MODIS 数据对沙漠化动态进行监测的基础上, 综合分析沙漠化逆转和发展地区气候变化和人类活动引起的 NPP 变化趋势, 定量评估近 10 a 来鄂尔多斯地区沙漠化动态及其与气候变化和人类活动间的关系. 结果表明: 2000—2010 年间, 尽管鄂尔多斯地区沙漠化面积没有明显变化, 但是沙漠化程度呈现整体逆转的态势, 其中逆转的沙漠化土地面积达 47 057 km² (占鄂尔多斯地区土地总面积的 54.2%), 比发展的沙漠化土地面积高出近 3 倍. 气候变化是近 10 a 来鄂尔多斯地区沙漠化逆转的主导因素, 主要归因于 2006 年来降雨量的增加以及近 10 a 来春季风速的减小, 围封禁牧、退耕还林(草)等政策的实施及其与有利气候条件的耦合进一步加快了区域沙漠化的逆转. 人类活动是导致近 10 a 来鄂尔多斯地区沙漠化发展的主要因素, 主要归因于部分地区生态保护政策的落实不力以及区域资源开发引起的环境破坏, 完全由人类活动引起的沙漠化发展主要分布鄂尔多斯的北部地区.

关键词: 鄂尔多斯; 沙漠化; 气候变化; 人类活动; 定量评价

中图分类号: X144 **文献标识码:** A

0 引言

鄂尔多斯地区是我国典型的生态脆弱区, 干旱的气候条件以及长期不合理的土地利用方式, 如过度放牧、樵采等使得该地区的土地沙漠化成为制约当地经济社会可持续发展的重要环境问题^[1-3]. 由于鄂尔多斯地区在生态-地理上也处于一个典型的过渡带, 如在气候方面表现为自西北向东南呈现出干旱、半干旱区到湿润区的过渡, 在地质地貌方面处于戈壁、沙漠向黄土高原的过渡, 在人类活动方面表现为畜牧业向农业的过渡. 复杂的气候变化和人类活动特征使得鄂尔多斯地区沙漠化动态及其驱动力作用过程具有典型的空问异质性^[4]. 特别是近 10 a 来随着围封禁牧、退耕还林(草)等沙漠化防治

政策的实施以及该地区城市化进程和矿山开采的不断加快, 对这一时间尺度下鄂尔多斯地区的沙漠化动态及其驱动机制研究更具典型性和代表性.

客观、科学的认识和评价区域沙漠化动态及其驱动机制需要定量的方法体系作为支撑. 尽管目前可以借助遥感影像及相关模型算法, 如监督分类、决策树、人工神经网络等对沙漠化动态进行监测, 但是仍然缺乏合适的定量方法在空间上建立其沙漠化的正逆过程与气候变化和人类活动作用之间的关系. 回归模型、主成分分析等方法作为常用的研究和评估沙漠化驱动力作用的定量方法尽管具有较强的数学基础, 但是其将区域沙漠化作为一个整体进行评估以及在驱动力作用过程解释方面的不足制约了该类方法的应用^[5-9]. 利用归一化植被指数(ND-

收稿日期: 2012-09-22; 修订日期: 2012-12-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(71103170; 40901054); 国家科技支撑计划项目(2012BAC19B09)资助

作者简介: 罗君(1980—), 男, 四川内江人, 2013 年在南京信息工程大学获硕士学位, 现主要从事气候变化与公共气象研究.

E-mail: luojun1980@qq.com

* 通讯作者: 许端阳, E-mail: xudy@istic.ac.cn

VI)或净初级生产力(NPP)及其与降雨之间的关系成为近年来国内外研究土地退化过程的一个重要手段,特别是利用气候引起的NDVI或NPP的理论变化与实际之间的差异来识别人类活动引起的土地退化^[10-19];由于这类方法以空间数据为基础,强调土地退化的生态-地理过程,这也为定量研究沙漠化动态及其与气候变化和人类活动的关系提供了新思路.本研究以2000—2010年鄂尔多斯地区沙漠化过程为研究对象,在利用MODIS数据对其动态变化进行监测的基础上,选择NPP为指标并借鉴上述分析理论与实际NPP变化的思路,研究沙漠化逆转过程与气候变化和人类活动的关系,以期客观认识近10a来沙漠化过程及其驱动机制、评估气候变化影响以及沙漠化防治政策的实施效果提供支撑.

1 数据与方法

1.1 研究区概况

鄂尔多斯地区位于内蒙古自治区的西南部(本研究中鄂尔多斯地区特指鄂尔多斯市,如图1所示),地理位置介于 $106^{\circ}42' \sim 111^{\circ}31' E$, $37^{\circ}41' \sim 40^{\circ}51' N$ 之间,处于温带干草原带向荒漠草原带过渡的半干旱地区,总面积 $86\,752\text{ km}^2$.鄂尔多斯地区气候的基本特征是温带四季分明的强大陆性、弱季风性、干旱半干旱高原气候,年降水量为 $160 \sim 400\text{ mm}$,自东向西逐渐减少;年平均气温一般在 $5.5 \sim 7.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间;年蒸发量多在 $2\,200 \sim 2\,600\text{ mm}$.

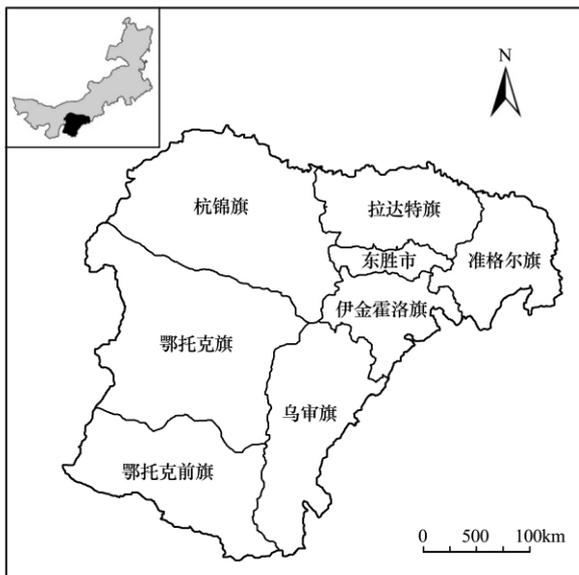


图1 研究区示意图

Fig. 1 Schematic of the research region

鄂尔多斯地区生态环境极其脆弱,第四纪紫色砂岩、古风成砂、马兰黄土、河湖沉积相等广泛分布于其间,疏松的地表物质加之长期的农牧-农耕交替以及恶劣的气候条件使得该区域的沙漠化问题日益严重.鄂尔多斯地区分布着毛乌素沙地和库布齐沙漠,全区沙漠化土地面积占全部土地面积的比例高达80%以上.另外,由于鄂尔多斯地区地貌环境复杂,沙地的物理特征与地带性生境有很大的不同,以至于在全区沙漠化土地上还分布着盐碱化(丘间地底以及盐碱湖周边)以及水蚀荒漠化区域(鄂尔多斯东、南部与黄土高原过渡区域),而这种破碎的地表景观格局也增加了沙漠化监测及其驱动力研究的复杂性.近年来,为了遏制沙漠化的进一步发展,鄂尔多斯地区加大了沙漠化治理力度,围封禁牧、退耕还林(草)等政策相继实施,为区域生态环境的改善提供了有利的条件.

1.2 数据来源

在本研究中,2000—2010年1 km分辨率的MODIS 16 d合成的标准产品数据包括NDVI、反照率(Albedo)、经BRDF校正的多波段反射率数据用于对鄂尔多斯地区沙漠化过程进行定量监测,并用最大值合成法对MODIS NDVI进行月值合成,用于NPP的反演;MODIS数据来源于NASA MODIS产品网站;年的月值数据来源于国家气象信息中心,具体包括降雨量、温度、日照时数、风速等多个气象指标.研究区1:100万土壤和植被类型图来源于中国科学院资源环境科学数据中心,主要用于NPP反演中相关土壤和植被属性的计算.

1.3 研究方法

1.3.1 沙漠化监测方法

本研究参照国家重点基础研究发展计划项目“中国北方沙漠化过程及其防治”中提出的中国北方沙漠化土地分类分级体系^[20],将研究区的沙漠化分为非沙漠化、轻度沙漠化、中度沙漠化、重度沙漠化、极重度沙漠化5个等级,并选择决策树模型作为本研究定量监测沙漠化的方法.在充分考虑沙漠化土地地表特征的基础上,本研究选择反映地表植被状况的NDVI、反映地表能量辐射平衡的反照率^[21](Albedo)以及反映地表干湿情况的土壤水分指数(以MODIS第7波段反射率(rf7)表示^[22])3个指标来定量识别沙漠化程度并建立决策树模型.在决策树模型指标阈值体系构建过程中,笔者选择研究区地表植被条件较好且差异性较大的秋分时期为监测时间窗口,以2000年MODIS影像为底图,依

据中国北方沙漠化土地分类分级体系选择 100 个点用于建模, 25 个点用于验证; 在此基础上, 利用建模点分别提取三个指标的对应数据, 通过分析其直方图来确定不同沙漠化等级各指标的阈值范围(如表 1 所示, 各指标数值均为 MODIS 产品原始值), 根据验证结果, 本研究的监测精度达到 90% 以上, 具有较高的准确性。

表 1 沙漠化监测指标阈值体系

Table 1 The threshold value system for desertification monitoring indicators

	Albedo	rf7	NDVI
非沙漠化	<100	<2000	<500, >5000
轻度沙漠化	100~120	2000~2600	3800~5000
中度沙漠化	120~140	2600~3200	2500~3800
重度沙漠化	140~160	3200~3800	1200~2500
极重度沙漠化	>160	>3800	500~1200

1.3.2 沙漠化动态与气候变化和人类活动关系的确定方法

在定量分析近 10 a 来鄂尔多斯地区沙漠化正逆过程的基础上, 本研究选择 NPP 作为指标, 以只考虑气候变化作用下的潜在 NPP 以及潜在与实际 NPP 的差值来分别衡量气候变化和人类活动在沙漠化过程中的作用, 通过分别比较沙漠化逆转和发展过程及其与气候变化和人类活动引起的 NPP 变化的线性趋势(分别以 SlopeCNPP 和 SlopeHNPP 表示)之间的关系, 最终确定沙漠化动态与气候变化和人类活动之间的关系, 具体如表 2 所示。

气候变化和人类活动都未导致沙漠化发展, 这些区域归为研究误差区域在本研究中, 实际 NPP 的反演是基于 CASA 模型进行的; 而对于只考虑气候变化作用下的潜在 NPP 的计算, 主要也是参考了 CASA 模型的构建方式, 即利用植被吸收的光合

有效辐射与光能利用率来计算。其中, 植被吸收的光合有效辐射比例(FPAR)的计算主要通过气候、土壤、植被属性来进行计算, 具体方法可参见文献[23—24]。

3 研究结果

3.1 2000—2010 年鄂尔多斯地区沙漠化动态

根据对 2000 年和 2010 年鄂尔多斯地区的沙漠化监测结果, 鄂尔多斯地区的沙漠化土地面积在过去近 10 a 中略有减少, 但总体变化不大。从不同等级的沙漠化土地变化情况来看(图 2), 在 2000—2010 年间, 非沙漠化土地、轻度沙漠化土地以及中度沙漠化土地面积均有所增加, 其中 2010 年鄂尔多斯地区轻度沙漠化土地面积相对 2000 年增加了近 1.5 倍, 占全区沙漠化土地面积的 30.4%; 而重度和极重度沙漠化土地面积相对 2000 年分别减少了 65.9% 和 65.2%, 占全区沙漠化土地面积分别为 12.1% 和 5.8%。为了进一步分析近 10 a 来鄂尔多斯地区不同等级沙漠化土地的动态变化, 我们通过空间叠加分析对研究区每一像元沙漠化的逆转和发展情况进行了统计分析(图 3)。在 2000—2010 年间, 鄂尔多斯地区逆转的沙漠化土地面积达 47 057 km², 比发展的沙漠化土地面积高出近 3 倍, 其中轻度逆转(本研究将沙漠化逆转 1 个等级定义为轻度逆转, 逆转 2 个等级以上定义为明显逆转, 沙漠化发展亦是如此)的沙漠化土地面积占总逆转面积的 54%; 对于沙漠化发展, 轻度发展的沙漠化土地占总发展面积的 95.7%。

从空间分布来看(图 4), 明显逆转的沙漠化区域主要分布在鄂托克前旗的东部地区以及鄂托克旗的中部地区; 轻度发展的沙漠化区域主要分布在伊金霍洛旗的大部分地区以及准格尔旗的东部地区。总体而言, 尽管沙漠化土地面积没有明显减少, 但

表 2 沙漠化动态与气候变化和人类活动关系的确定方法

Table 2 The methods for determining the relationship between desertification dynamics and climate change, human activities

	SlopeCNPP	SlopeHNPP	沙漠化动态与气候变化和人类活动的关系
沙漠化逆转	>0	<0	气候变化和人类活动共同导致沙漠化逆转
	>0	>0	只有气候变化导致沙漠化逆转
	<0	<0	只有人类活动导致沙漠化逆转
沙漠化发展	<0	>0	气候变化和人类活动都未导致沙漠化逆转, 这些区域归为研究误差区域
	<0	>0	气候变化和人类活动共同导致沙漠化发展
	<0	<0	只有气候变化导致沙漠化发展
	>0	>0	只有人类活动导致沙漠化发展
	>0	<0	气候变化和人类活动都未导致沙漠化发展, 这些区域归为研究误差区域

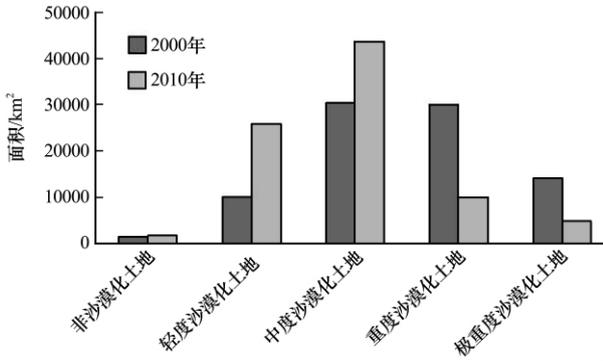


图 2 2000—2010 年鄂尔多斯地区不同沙漠化等级土地面积变化

Fig. 2 The change in area of different desertification lands in Ordos from 2000 to 2010

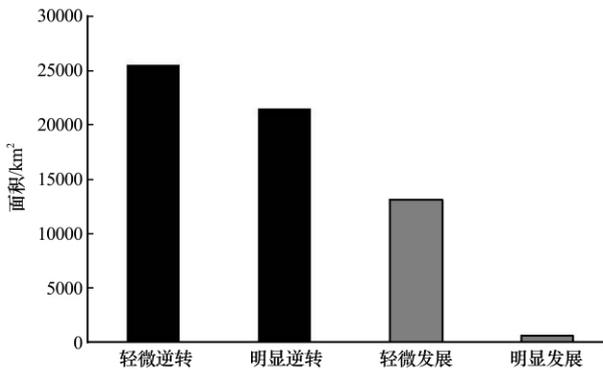


图 3 2000—2010 年鄂尔多斯地区沙漠化逆转和发展情况

Fig. 3 The area of lands experienced different desertification reversions and expansions in Ordos from 2000 to 2010

是近 10 a 来鄂尔多斯沙漠化地区的沙漠化程度呈现总体逆转的态势。

3.2 近 10 a 来鄂尔多斯地区沙漠化逆转与气候变化和人类活动的关系

3.2.1 沙漠化逆转过程中气候变化和人类活动的作用及空间差异

根据上述用于分析沙漠化逆转与气候变化和人类活动关系的方法，本研究从空间上定量的识别出完全由气候变化引起的沙漠逆转、完全由人类活动引起的沙漠化逆转、以及由气候变化和人类活动共同引起的沙漠化逆转区域。根据对这些区域的统计结果，近 10 a 来鄂尔多斯地区沙漠化逆转主要是由气候变化引起的，完全由气候变化引起的沙漠化逆转区域的面积达 26 633 km²，占总沙漠化逆转面积的 56.6%。人类活动对近 10 a 鄂尔多斯地区的沙漠化逆转也起到了积极的作用，突出表现为与气候变化相耦合共同驱动了部分地区沙漠化的逆转；其

中完全由人类活动引起的沙漠化逆转占总沙漠化逆转面积的 3.8%，由气候变化和人类活动共同引起的沙漠化逆转占总沙漠化逆转面积的 39.5%。从空间分布上看(图 5)，完全由气候变化引起的沙漠化逆转主要分布在鄂托克旗和乌审旗的交界处，即毛乌素沙地腹地，以及杭锦旗内库布齐沙漠的边缘；由气候变化和人类活动共同引起的沙漠化逆转区域主要分布在鄂托克旗西部的荒漠草原地区；而由人类活动引起的沙漠化逆转主要分布在鄂托克前旗的东南部地区。

3.2.2 沙漠化逆转的驱动力作用分析

为了进一步分析鄂尔多斯地区沙漠化逆转过程中气候变化的作用，作者对近 10 a 来该地区降雨、温度、春季风速以及干湿指数(最大可能蒸散与降雨量的比值)等主要气候要素的变化特征做了进一步分析。从图 6 可以看出，尽管平均气温近 10 a 来变化不是特别明显，但是降雨量和春季风速近 10 a 来的变化均呈有利于沙漠化逆转的趋势，其中降雨量在 2004—2005 年经历了降低之后呈现明显增加的趋势，而对沙漠化影响较大的春季风速则在近 10 a 里呈明显降低的趋势。在降雨、风速等气候因素的综合作用下，近 10 a 来特别是过去 5 a 鄂尔多斯地区地表干湿状况得到明显好转，这为沙漠化地区植被的恢复提供了良好的气候条件。需要指出的是，近 10 a 来气候变化对鄂尔多斯地区沙漠化的影响在空间也具有相对一致性。根据对可以综合反映气候变化对地表环境影响的干湿系数的线性变化趋势的计算结果，研究区每一个栅格干湿系数线性变化趋势均呈降低的趋势，这也说明近 10 a 来气候变化的特征有利于鄂尔多斯地区沙漠化的逆转。

人类活动对于鄂尔多斯地区沙漠化逆转也发挥了积极的作用。2000 年以来，鄂尔多斯地区相继实施了围封禁牧、退耕还林(草)等生态保护政策，其中 2000 年以来累计造林达 126 × 10⁴ hm²。与气候变化对沙漠化影响的整体性相比，人类活动对沙漠化的影响具有区域性和可识别性的特点。例如，在围封禁牧、退耕还林(草)等生态保护政策的作用下，沙漠化地表植被生产力及景观格局会发生明显的改变，而这种变化(即人类活动引起的沙漠化逆转)可以通过本研究的评价方法进行识别。为了进一步分析人类活动对沙漠化的影响以及验证本研究方法的可靠性，笔者收集了鄂尔多斯地区部分 2000 年的 Landsat ETM+ 以及 2010 年的 Aster 影像，在对比两期影像识别出可以明显判断为人类活动引起的沙漠化逆转区域的基础上，与本研究所识别出

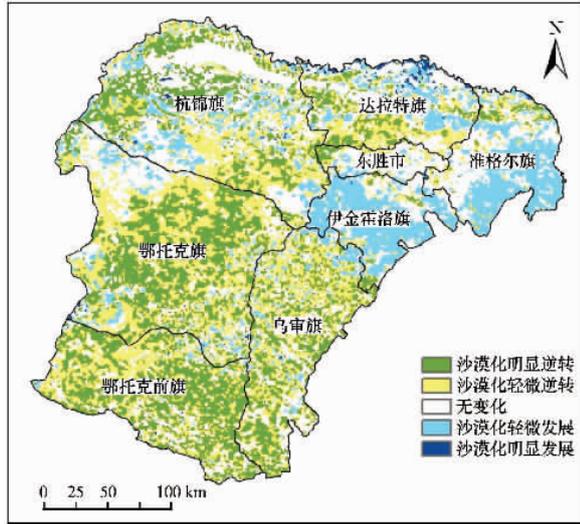


图 4 2000—2010 年鄂尔多斯地区沙漠化动态空间分布图
Fig. 4 The spatial distribution of desertification dynamics in Ordos from 2000 to 2010

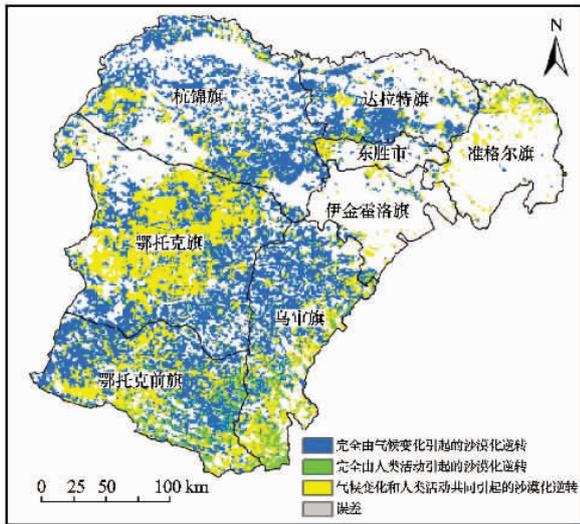


图 5 气候变化和人类活动引起的沙漠化逆转土地的空间分布
Fig. 5 The spatial distribution of lands experienced desertification reversion due to climate

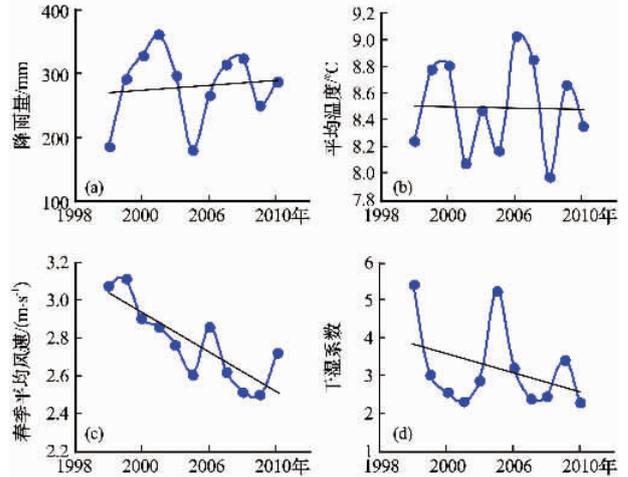


图 6 2000—2010 年鄂尔多斯地区主要气候要素的变化
Fig. 6 The changes of the main climate factors in Ordos from 2000 to 2010

的人类活动引起的沙漠化逆转区域进行对比。从鄂托克旗政府所在地周边的沙漠化逆转区域可以看出(图 7), 城镇扩张引起的土地利用类型的改变以及城镇周边人为进行的植被建设(规则的植被斑块)促进了该地区的沙漠化逆转, 而这些区域可以被本研究方法准确识别。事实上, 人类活动引起沙漠化逆转不仅体现在土地利用类型及景观格局的变化, 也体现在植被生产力的恢复。例如, 2000—2010 年间, 鄂尔多斯地区大牲畜及羊的数量由 374×10^4 头增加到 784×10^4 头, 但是由于禁牧政策的实施, 畜牧压力并未对鄂尔多斯地区植被产生明显的影响。然而, 由于政策实施的效果往往具有一定的迟滞性, 因此在较短的时间序列分析中其作用并未能完全体现。另外, 人类活动的正面效应与有利的气候条件相耦合也将会进一步放大各自对沙漠化逆转的推动作用, 而在本研究中这种耦合作用也是促进鄂尔多斯地区沙漠化逆转的重要因素。

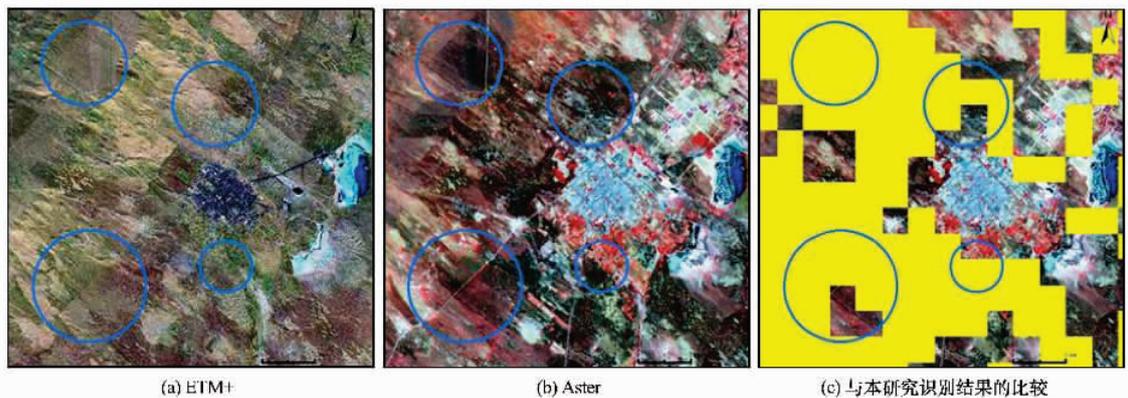


图 7 人类活动引起的沙漠化逆转区域识别结果的验证
Fig. 7 The validation for the areas experienced human-induced desertification reversion

3.3 近 10 a 来鄂尔多斯地区沙漠化发展与气候变化和人类活动的关系

3.3.1 沙漠化发展过程中气候变化和人类活动的作用及空间差异

对于鄂尔多斯地区沙漠化发展的区域而言, 完全由气候变化引起的沙漠发展、完全由人类活动引起的沙漠化发展、以及由气候变化和人类活动共同引起的沙漠化发展区域也可以从空间上进行定量识别。根据对这些区域的统计结果, 人类活动是近 10 a 来鄂尔多斯地区沙漠化发展的主要驱动力, 完全由人类活动引起的沙漠化发展面积达 5 549 km², 占总沙漠化发展面积的 40.4%。气候变化对于近 10 a 来鄂尔多斯地区沙漠化发展贡献较小, 其中完全由气候变化引起的沙漠化发展面积占总沙漠化发展面积的 3.3%。从不同驱动力作用下的沙漠化发展区域的空间分布上看(图 8), 完全由人类活动引起的沙漠化发展区域主要分布在鄂尔多斯的北部地区, 包括杭锦旗的中部地区、达拉特旗的北部地区以及伊金霍洛旗和杭锦旗的交界地区; 完全由气候变化引起的沙漠化发展区域零星分布在准格尔旗和伊金霍洛旗境内。在针对沙漠化发展及其与气候变化和人类活动关系的研究中, 误差区域占有相当大的比例, 达 56%; 从其空间分布上看, 这些区域主要分布在准格尔旗和伊金霍洛旗的水蚀荒漠化与沙漠化的交界区域, 地表景观较为破碎, 沙漠化的分类上的误差成为影响沙漠化过程及其驱动力关系研究中的重要因素; 另一方面, 由于地表景观破碎而引起的 NPP 反演上的精度问题也是产生误差的重要原因。

3.3.2 沙漠化发展的驱动力作用分析

从上述关于气候变化和人类活动在鄂尔多斯地区沙漠化发展中作用的分析可以看出, 近 10 a 来气候变化对沙漠化发展的影响极其有限, 这也与沙漠化逆转过程中气候变化作用的分析结果相一致。与气候变化相比, 人类活动才是引起该地区沙漠化发展的主要因素。尽管鄂尔多斯地区 21 世纪初就开始实施围封禁牧、退耕还林(草)等生态保护政策, 但对这些政策措施对于沙漠化的正面影响并未完全体现。一方面, 这些生态保护政策在执行过程中受政府监管及农户自身行为的影响较大, 以至于在沙漠化治理方面不同地区的政策效果会有所不同。例如根据本研究的结果, 鄂尔多斯南部地区沙漠化的治理效果要好于北部地区。另一方面, 人类活动引起的沙漠化发展也与鄂尔多斯近年来煤矿、天然气

资源的开采对环境的破坏有密切关系; 例如, 煤炭、天然气等资源的开采不仅使地表景观格局更加破碎, 同时加剧了区域重力侵蚀的发展, 而重力侵蚀与风蚀相耦合, 进一步引发了沙漠化的发展, 甚至抵消掉多年来生态保护政策实施所产生的正面效果。据统计, 2000—2010 年间, 鄂尔多斯地区的原煤开采量增加了近 110 倍, 天然气的开采量增加了 160 倍(数据来源于鄂尔多斯市国民经济和社会发展统计公报, 其中原煤和天然气数据分别始于 2001 年和 2003 年)(图 9)。

由于统计数据难以反映人类活动在空间上的差异, 因此可以借助高分辨率遥感影像等手段可以对沙漠化发展中的人为因素进行深入分析。利用 2000 年的 Landsat ETM+ 以及 2010 年的 Aster 影像, 作者通过对地表景观格局变化的判断识别出明显为人类活动引起的沙漠化发展, 如图 10 所示(鄂托克旗西部), 乡镇的发展(图 10 中红色方框)及道路的修建引发了周边地区农田及自然植被的破坏, 进而引起沙漠化的发展, 这些区域与本研究方法所识别的人类活动引起的沙漠化发展区域吻合的较好。然而, 人类活动对沙漠化发展的影响较为复杂, 特别是农户自身的生产生活行为具有多样性的特点, 因此还需要借助农户调查等手段来进一步分析人类活动对沙漠化的影响。

4 讨论与结论

鄂尔多斯地区一直是我国受沙漠化影响较为严重的地区, 近 10 a 的 MODIS 卫星影像也准确地反映了这一现状。在气候变化和人类活动这两大驱动力的作用下, 近 10 a 来鄂尔多斯地区的沙漠化程度呈整体逆转、局部发展的态势。在本研究中, 通过综合对比分析气候变化和人类活动引起的 NPP 变化趋势、区分沙漠化逆转和发展下不同气候变化和人类活动作用情景的分析方法可以有效从空间上定量识别鄂尔多斯地区沙漠化逆转、发展与气候变化和人类活动之间的关系。

根据本研究得出的结果, 气候变化是近 10 a 来鄂尔多斯地区沙漠化逆转的主导因素, 围封禁牧、退耕还林(草)等政策的实施及其与有利气候条件的耦合进一步加快了区域沙漠化的逆转; 而对于沙漠化发展而言, 人类活动则是引起该地区沙漠化发展的主要原因。气候变化对近 10 a 来鄂尔多斯地区沙漠化的影响具有整体效应, 主要体现在降雨量的增加、春季风速减小以及多种气候要素作用下地

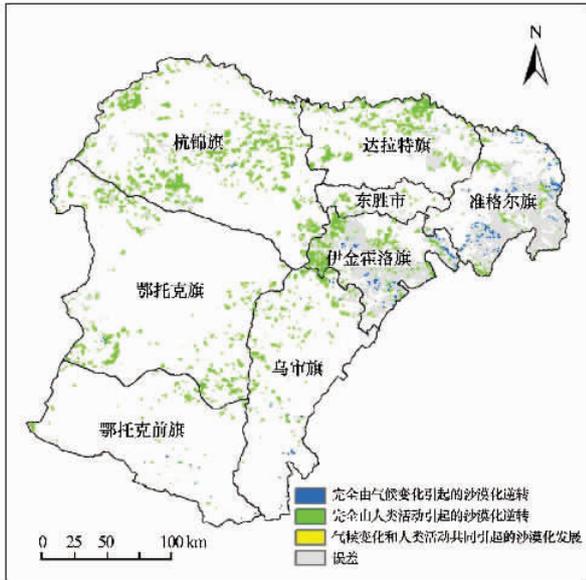


图 8 气候变化和人类活动引起的沙漠化发展土地的空间分布

Fig. 8 The spatial distribution of lands experienced desertification expansion due to climate change and human activities

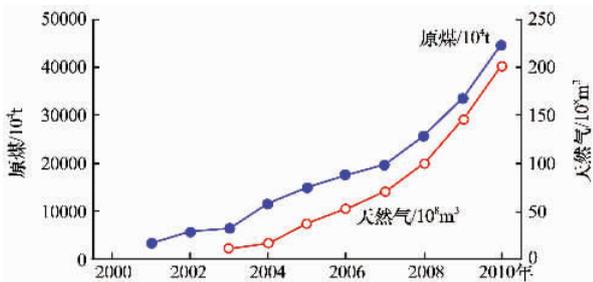


图 9 2000—2010 年来鄂尔多斯地区原煤和天然气开采情况

Fig. 9 The increasing yields of raw coal and natural gas in Ordos from 2000 to 2010

表干湿环境的改善。与气候变化对沙漠化影响的一致性相比，人类活动的影响则具有更大的不确定性，特别是对于鄂尔多斯地区而言，这种不确定性

体现的更加明显。近 10 a 来，鄂尔多斯地区的生态保护与破坏行为可以说一直在同步进行，以至于围封禁牧、退耕还林(草)等生态保护政策对沙漠化治理所带来的正面效应在煤炭、石油、天然气等资源开采的影响作用下并未完全显现，甚至一些地区沙漠化发展情况依然严重。从本研究对沙漠化发展的分析结果可以看出，完全由人类活动引起的沙漠化发展土地面积达 5 549 km²。

尽管气候变化和人类活动对沙漠化动态的作用分析揭示了区域沙漠化过程及机理，但是从沙漠化防治的角度看，关键还在于协调区域发展中的人地关系。从鄂尔多斯地区人地矛盾的演变过程来看，该地区人地矛盾的核心已经不再局限于传统的滥垦滥伐、放牧数量的增加与土地可持续利用之间的矛盾，呈现出一些新的特点和多源化的特征。例如，近年来围封禁牧等生态保护政策的实施使得放牧对草场的压力逐步减弱，但是由于政策的不完善性所引发的一些新问题如生态补偿问题等有可能制约政策的实施效果。另外，随着 2000 年以来鄂尔多斯地区城市化步伐的不断加快以及能源产业的迅猛发展，城市化及能源开采过程中所引起的环境破坏则有可能成为引起沙漠化发展的一个重要因素。因此，对于鄂尔多斯地区而言，沙漠化的治理应当从协调区域人地矛盾入手，在经济发展的过程中更加注重生态环境保护，同时要进一步加强政策制度的落实来规范农户的生产生活行为，通过完善生态补偿机制来维护农户基本利益^[25]，确保生态保护政策的正面效应能充分释放。人类活动对沙漠化影响的空间异质性通过本文的研究方法也进一步被证实，而基于空间差异性的人类活动作用研究结果也可以为政策执行情况的评估以及未来区域沙漠化防治重点区域的确定提供支撑，然而这也需要

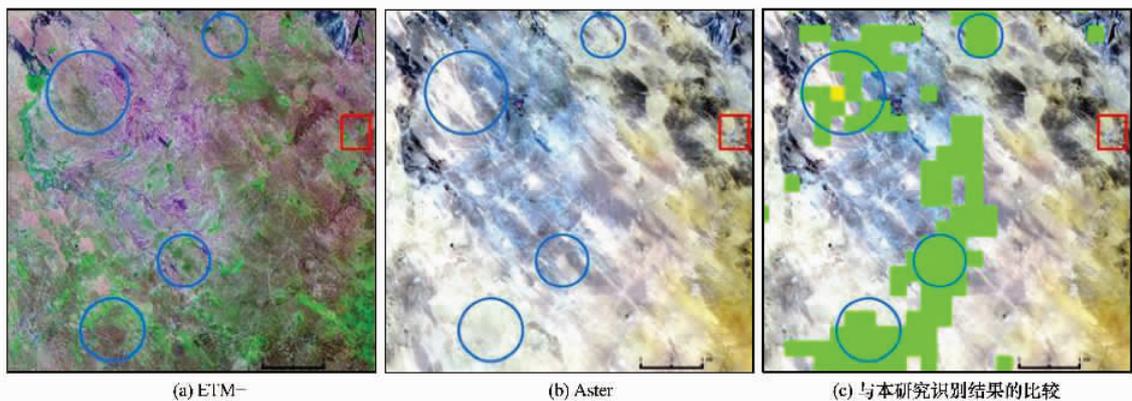


图 10 人类活动引起的沙漠化发展区域识别结果的验证

Fig. 10 The validation for the areas experienced developing human-induced desertification

借助大范围的地面采样调查以及高分辨率卫星影像来辅助开展。

参考文献 (References):

- [1] Jia Baoquan, Ci Longjun, Gao Zhigang, *et al.* The quantitative analysis of effect factors on sandy desertification in Ordos Plateau [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2003, **39**(6): 15—20. [贾宝全, 慈龙骏, 高志刚, 等. 鄂尔多斯高原土地沙化过程中自然与人为因素的定量分析[J]. *林业科学*, 2003, **39**(6): 15—20.]
- [2] Hao Chengyuan, Wu Shaohong, Yang Qinye. Research on relationship between sandy desertification and land-use in Mu Us region [J]. *Journal of Desert Research*, 2005, **25**(1): 33—39. [郝成元, 吴绍洪, 杨勤业. 毛乌素地区沙漠化与土地利用研究[J]. *中国沙漠*, 2005, **25**(1): 33—39.]
- [3] Xu Duanyang, Kang Xiangwu, Liu Zhili, *et al.* Assessing the relative role of climate change and human activities in sandy desertification of Ordos region, China [J]. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 2009, **52**(6): 855—868. [许端阳, 康相武, 刘志丽, 等. 气候变化和人类活动在鄂尔多斯地区沙漠化过程中的相对作用研究[J]. *中国科学(D 辑: 地球科学)*, 2009, **52**(6): 516—528.]
- [4] Li bo. Research on the natural resources and environment of Ordos Plateau, Inner Mongolia [M]. Beijing, Science Press, 1990. [李博. 内蒙古鄂尔多斯高原自然资源与环境研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1990.]
- [5] Dong Yuxiang. Quantitative identification of driving factors of contemporary sandy desertification in semi arid zone in China [J]. *Journal of Desert Research*, 2001, **21**(4): 412—416. [董玉祥. 我国半干旱地区现代沙漠化驱动因素的定量辨识 [J]. *中国沙漠*, 2001, **21**(4): 412—416.]
- [6] Xu Xiaoling, Yan Junping. Research on quantitative relations between human factors and desertification in northern Shaanxi sandy area [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2005, **19**(5): 38—41. [徐小玲, 延军平. 陕北沙区人为因素与沙漠化的定量关系研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2005, **19**(5): 38—41.]
- [7] Ma Y, Fan S, Zhou L, *et al.* The temporal of driving factors during the course of land desertification in arid region of North China; the case of Minqin county [J]. *Environment Geology*, 2007, **51**: 999—1008.
- [8] Lin Peisong, Li Sen, Li Baosheng, *et al.* Correlativity between land desertification and climate variability in west of Hainan Island during past nearly 20 years [J]. *Journal of Desert Research*, 2005, **25**(1): 27—32. [林培松, 李森, 李保生, 等. 近 20 a 来海南岛西部土地沙漠化与气候变化关联度研究[J]. *中国沙漠*, 2005, **25**(1): 27—32.]
- [9] Liu Wei, Wang Tao, Zheng Hang, *et al.* Driving forces of different type of land desertification in Heihe River basin [J]. *Journal of Desert Research*, 2008, **28**(4): 634—641. [刘蔚, 王涛, 郑航, 等. 黑河流域不同类型土地沙漠化驱动力分析 [J]. *中国沙漠*, 2008, **28**(4): 634—641.]
- [10] Prince S D, de Colstoun B E, Kravitz L L. Evidence from rain-use efficiency dose not indicate extensive Sahelian desertification [J]. *Global Change Biology*, 1998, **4**: 359—374.
- [11] Price S D. Spatial and temporal scales for detection of desertification [M]// *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* Berlin: Dahlem University Press, 2002: 23—40.
- [12] Wessels K J, Prince S D, Frost P E, *et al.* Assessing the effects of human-induced land degradation in the former homelands of northern South Africa with a 1 km AVHRR NDVI time-series [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, **91**: 47—67.
- [13] Wessels K J, Prince S D, Malherbe J, *et al.* Can human-induced land degradation be distinguished from the effects of rainfall variability? A case study in South Africa [J]. *Journal of Arid Environments*, 2007, **68**: 271—297.
- [14] Hermann S M, Anyamba A, Tucker C J. Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate [J]. *Global Environment Change*, 2005, **15**(4): 394—404.
- [15] Evans J, Geerken R. Discrimination between climate and human-induced dryland degradation [J]. *Journal of Arid Environments*, 2004, **57**: 535—554.
- [16] Xu D Y, Kang X W, Zhuang D F, *et al.* Multi-scale quantitative assessment of the relative roles of climate change and human activities in desertification—A case study of the Ordos Plateau, China [J]. *Journal of Arid Environments*, 2010, **74**: 498—507.
- [17] Prince S D, Becker-Reshef I, Rishmawi K. Detection and mapping of long-term land degradation using local net production scaling: Application to Zimbabwe [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2009, **113**: 1046—1057.
- [18] Brinkmann K, Dickhoefer U, Schlecht E, *et al.* Quantification of aboveground rangeland productivity and anthropogenic degradation on Arabia Peninsula using Landsat imagery and field inventory data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2011, **115**: 465—474.
- [19] Sun Jianguo, Wang Tao, Yang Changzhen. The relative role of climate change and human activities in desertification process: A case study in Yulin, Shaanxi Province, China [J]. *Journal of Desert Research*, 2012, **32**(3): 625—630. [孙建国, 王涛, 颜长珍. 气候变化和人类活动在榆林市荒漠化过程中的相对作用 [J]. *中国沙漠*, 2012, **32**(3): 625—630.]
- [20] Wang Tao, Wu Wei, Xue Xian, *et al.* Spatial-temporal changes of sandy desertification land during last 5 decades in northern China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2004, **59**(2): 203—212. [王涛, 吴薇, 薛娴, 等. 近 50 年来中国北方沙漠化土地的时空变化 [J]. *地理学报*, 2004, **59**(2): 203—212.]
- [21] Zhong Lei, Ma Yaoming, Ma Weiqiang, *et al.* Land surface heat fluxes in the middle reaches of Yalung Zangbo River and its two tributaries derived from AVHRR and MODIS data [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2011, **23**(2): 309—317. [仲雷, 马耀明, 马伟强, 等. 西藏中部“一江两河”地区地表通量的卫星遥感估算 [J]. *冰川冻土*, 2011, **23**(2): 309—317.]
- [22] Huo Aidi. Study on Aeolian Desertification Remote Sensing Monitoring System in China Using MODIS Image Data [D]. Yangling, Northwest A & F University, 2008. [霍艾迪. 基于 MODIS 数据的沙漠化遥感监测技术研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.]
- [23] Wang Guocheng, Zhang Wen, Huang Yao. Spatial and temporal variation of net primary productivity in Inner Mongolian grassland from 1981 to 2001 [J]. *Pratacultural Science*, 2011,

- 28(11): 2016—2025. [王国成, 张稳, 黄耀. 1981—2001 年内蒙古草地净初级生产力时空变化特征[J]. 草业科学, 2011, 28(11): 2016—2025.]
- [24] Tao F, Yokozawa M, Zhang Z, *et al.* Remote sensing of crop production in China by production efficiency model: models comparisons, estimates and uncertainties [J]. *Ecological Modeling*, 2005, 183: 385—396.
- [25] Shang Haiyang, Su Fang, Xu Zhongmin, *et al.* A review of the eco-compensation study [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2011, 23(6): 1435—1443. [尚海洋, 苏芳, 徐中民, 等. 生态补偿的研究进展及其启示[J]. 冰川冻土, 2011, 23(6): 1435—1443.]

The Desertification Dynamics in Ordos from 2000 to 2010 and Their Relationship with Climate Change and Human Activities

LUO Jun¹, XU Duan-yang², REN Hong-yan³

(1. *Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing Jiangsu 210044, China*; 2. *Institute of Science and Technical Information of China, Beijing 100038, China*; 3. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*)

Abstract: Ordos is one of the regions that seriously suffered from desertification in China. Carrying out the research on the desertification dynamics monitoring and its relationship with driving forces in Ordos has significance for understanding the process of desertification, making and evaluating the policies for desertification rehabilitation. In this paper, based on using the MODIS data to monitor the desertification dynamics in Ordos from 2000 to 2010, the changing trends of net primary productivity due to climate change and human activities for the lands experienced desertification reversion and expansion is analyzed, and the desertification dynamics in Ordos from 2000 to 2010 and their relationship with climate change and human activities are quantitatively assessed. It is found that the area of desertification land in Ordos did not changed obviously from 2000 to 2010, but the degree of desertification reversed significantly, and area of lands experienced desertification reversion

reached 47 057 km² (accounting for 54.2% of the total area of Ordos), which was almost three times higher than that of desertification expansion. Climate change was the dominated factor that induced the desertification reversion from 2000 to 2010, which almost could be attributed to the increasing precipitation and the decreasing of wind speed in spring from 2000 to 2010. Also the implement of ecological protection policies, such as rangeland enclosure and grain for green and its' coupling with good climate condition, accelerated the desertification reversion. Human activities was the dominant factor that induced the desertification expansion from 2000 to 2010, which mainly attributed to the implementation of those ecological protection policies ineffective and the environment damage due to development of energy and mining industries, and the lands with desertification expansion totally induced by human activities mainly distributed in the north of Ordos.

Key words: Ordos; desertification; climate change; human activities; quantitative assessment