

# 阿拉善干旱荒漠区土地利用变化对生态系统服务的影响

卢周扬帆<sup>1,2</sup>, 许端阳<sup>2</sup>, 张绪教<sup>1</sup>, 赵志荣<sup>1,2</sup>, 张晓宇<sup>2</sup>

(1.中国地质大学(北京), 北京 100083; 2.中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘 要:**为探析干旱荒漠区生态系统服务对土地利用变化的响应,支撑干旱荒漠区生态—经济—社会可持续发展,选择生态环境脆弱、人地关系紧张的阿拉善干旱荒漠区为典型研究区,运用 ArcGIS 对阿拉善 2000—2015 年土地利用变化进行了分析,在此基础上利用 InVEST 模型评估了阿拉善土地利用变化对区域生态系统服务价值的影响。结果表明:2000—2015 年,阿拉善土地利用变化明显,草地、建设用地、耕地、水域面积呈增加趋势,而未利用土地和林地面积极呈减少趋势。同期,研究区生态系统服务总价值从 1 025.26 亿元增加到 1 237.70 亿元,主要归因于未利用土地面积的减少和草地面积的增加;而这一变化对研究区土壤保持服务价值增加的影响尤为明显。2000—2015 年,研究区分布有 5 个生态系统服务价值热点区域,这些区域生态服务价值的提高普遍得益于近些年生态治理工程的实施。但值得注意的是,阿拉善右旗和居延海绿洲的热点区域有缩小的趋势,在今后的生态治理过程中需要重点关注。

**关键词:**干旱荒漠区;生态系统服务;土地利用变化;InVEST 模型;阿拉善

**中图分类号:**F301.2; F062.2; X171

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2019)06-0296-07

## Impact of Land Use Change on Ecosystem Services in Arid Desert Region of Alxa

LU Zhouyangfan<sup>1,2</sup>, XU Duanyang<sup>2</sup>, ZHANG Xujiao<sup>1</sup>, ZHAO Zhirong<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiaoyu<sup>2</sup>

(1.China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2.Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** In order to explore the response of ecosystem services to land use change and support the sustainable development of ecology-economy-society in arid desert areas, land use is one of the most important driving forces leading to the change of ecosystem services. Considered the fragile eco-environment and intensive man-land relationship, we selected arid desert region of Alxa as the research region, and analyzed the dynamics of land use change from 2000 to 2015 by using ArcGIS, and assessed its impact on the change of regional Ecosystem Services Value (ESV) by using InVEST model. The results showed that the land use of Alxa had experienced a significant change from 2000 to 2015; the areas of grassland, construction land, cultivated land and water presented the increasing trend, while the areas of unused land and forest had decreased; during the same period, the total ESV in Alxa increased from 102.526 billion yuan to 123.770 billion yuan, which was mainly attributed to the decrease of unused land and the increase of grassland, and this change of land use had a particularly significant impact on the increase of soil conservation service value; from 2000 to 2015, five hot spots with ESV change were observed in Alxa, and the increase of ESV in these regions generally benefited from the implementation of ecological projects in recent years. However, the area of hot spots with ESV change in Alxa Right Banner and Juyanhai Oasis experienced the decreasing trend, and ecology recovery in these regions should be paid more attention in the future.

**Keywords:** arid desert area; ecosystem services; land use change; InVEST model; Alxa

生态系统服务是生态系统及其生态过程所形成或维持的人类赖以生存的自然环境条件与功能<sup>[1]</sup>;它不仅为人类的生产和生活提供必须的生态产品,还创造和维持了地球生命支持系统,形成了人类生存所必

需的环境条件。荒漠生态系统是发育在降水稀少、蒸发强烈、极端干旱环境下,植物群落稀疏的生态系统类型,是陆地生态系统的重要组成部分,具有独特的结构和功能<sup>[2]</sup>,如土壤保持、防风固沙、碳汇、生物多

样性维持等,对于维持干旱一半干旱地区经济社会可持续发展、改善农牧民生计以及减贫等具有重要影响。因此,科学评估荒漠生态系统服务已成为当前生态系统服务研究以及可持续发展领域的重要议题。

荒漠生态系统极其脆弱,其核心生态系统服务功能对气候变化和人类活动极为敏感;有研究表明,我国西北干旱荒漠生态系统总体处于中—重度脆弱状态,极易受到干扰,气温、降水及人类活动对其影响显著<sup>[3-4]</sup>。气候变化和人类活动以不同的方式影响着荒漠生态系统,如降雨、温度、风速、太阳辐射等气候因子通过强度、格局的变化极易影响荒漠生态系统一年生植物以及多年生灌木的生物量,并对生态系统服务产生影响<sup>[5-6]</sup>;而人类活动则更为复杂,多在宏观经济、政策以及微观市场影响下,通过土地利用方式的改变来影响荒漠生态系统服务,特别是以重大生态工程、城镇化扩展为主要特征的土地利用变化对生态系统服务功能产生重要影响,而这也成为近年来国内外学者关注与研究的重点。例如,赵振勇等<sup>[7]</sup>以塔里木河下游荒漠生态系统为例,探讨荒漠生态系统退化的干扰驱动力,阐述了人为干扰是系统退化的重要驱动力;孔君洽等<sup>[8]</sup>在基于土地利用变化对荒漠绿洲碳储量动态评估中进一步深化人类活动对荒漠绿洲生态系统影响的认识;陈淑青<sup>[9]</sup>在探究盐池县北部风沙区生态安全指数中指出区域土地利用方式对区域生态安全具有重要影响。然而,与森林、农田、草地等生态系统相比<sup>[10-16]</sup>,土地利用变化对干旱区荒漠生态系统服务研究相对薄弱,特别是从土地利用变化过程入手分析其对荒漠生态系统影响的空间差异以及热点区域变化归因识别方面的研究较少,对于干旱半干旱地区经济社会发展以及生态治理政策制定的支撑作用不足<sup>[17]</sup>。

近年来,为改善干旱地区生态环境、防治土地荒漠化,我国相继启动了“三北”防护林建设、天然林保护、退耕还林、京津风沙源治理、沙化土地封禁保护补助试点等一批重点生态工程;在这些生态工程以及城镇化等因素共同作用下,我国干旱荒漠区土地利用发生了重大变化,并对荒漠生态系统服务产生了显著影响<sup>[18]</sup>。本研究选择内蒙古干旱荒漠区相对完整的自然地理与行政单元—阿拉善盟为研究对象,在识别2000—2015年该区域土地利用变化格局基础上,分析其对荒漠生态系统服务的影响及热点区域,旨在为阿拉善地区的生态治理政策及实现可持续发展提供科技支撑。

## 1 研究区域

阿拉善盟(以下简称“阿拉善”)位于 $37^{\circ}24'—42^{\circ}47'N$ , $97^{\circ}10'—106^{\circ}53'E$ (图1),地处内蒙古自治区最

西部,东与巴彦淖尔市、乌海市、鄂尔多斯市相连,南与宁夏毗邻,西与甘肃接壤,北与蒙古国交界,下辖3个旗(阿拉善左旗、阿拉善右旗、额济纳旗),4个自治区级开发区,共有30个苏木镇,198个嘎查村,总面积为27万 $km^2$ ,总人口24.57万人。气候以温带大陆性气候为主,年均气温 $6\sim 8.5^{\circ}C$ ,降水主要集中在7—9月,年降水量一般在200 mm以下,蒸发量2 000~4 000 mm,属于典型干旱区域。巴丹吉林、腾格里、乌兰布和三大沙漠分布其中,地表植被稀疏,覆盖度低,土壤为棕钙土,淋溶作用微弱,土质松散、瘠薄,含有较多的可溶性盐。鉴于阿拉善的特殊区位与自然条件,2000年以来我国政府陆续启动了系列生态治理工程,如在贺兰山周边地区实施了退牧还林(草)、移民搬迁工程,在额济纳黑河流域开展了黑河治理工程,在三大沙漠边缘采取了退牧还林(草)及飞播造林等生态治理工程措施。

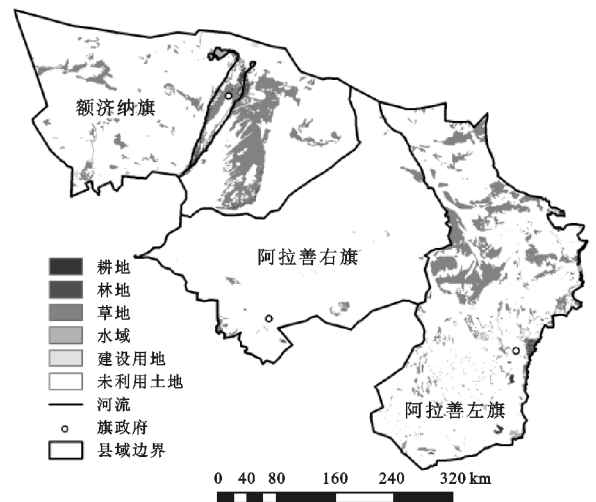


图1 研究区范围及土地利用基本情况

## 2 材料与方法

### 2.1 数据来源

本文所使用的数据主要包括数字高程模型(DEM)、气候、土壤以及土地利用分类图等。30 m $\times$ 30 m分辨率的DEM和分辨率为1 km $\times$ 1 km的3期(2000年、2010年、2015年)土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心。2000—2015年研究区的降雨、温度、日照时数、风速等气候要素数据来源于国家气象信息中心,土壤质地及深度数据来源于“黑河计划数据管理中心”(http://westdc.westgis.ac.cn)。为便于分析,本研究将所有栅格数据统一重采样为1 km $\times$ 1 km,投影使用Krasovsky\_1940\_Albers。

### 2.2 研究方法

2.2.1 土地利用变化 通过计算不同时期不同土地利用类型的面积变化量和单一土地利用类型动态度

指数来定量描述研究区土地利用类型变化的幅度与速度。单一土地利用类型动态指数计算公式如下:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $U_a$ ,  $U_b$  分别为研究初期和末期某一种土地类型的面积;  $T$  为研究时段, 以年计;  $K$  值表示研究时段内某种土地类型的年际变化率, 反映了该类土地变化的剧烈程度。

土地利用转移矩阵是土地利用类型间相互转化的数量和方向定量研究的主要方法, 它能够具体反映土地利用变化的结构特征和各类型间的转移方向。利用 ArcGIS 的 intersect 模块和 Excel 的数据透视表, 将土地利用分类图在 ArcGIS 中进行叠加分析, 得到 2000—2015 年土地利用转移矩阵, 同时引入土地类型转入/转出贡献率以充分体现出土地空间格局变化的总体特征和内在驱动机制<sup>[19]</sup>。土地类型转入/转出贡献率计算公式如下:

$$L_{i+} = \frac{\sum_{j=i}^n S_{ji}}{S_i} \times 100\% \quad (2)$$

$$L_{i-} = \frac{\sum_{j=i}^n S_{ij}}{S_i} \times 100\% \quad (3)$$

式中:  $L_{i+}$  为除第  $i$  类外的其他土地类型向第  $i$  类土地类型转入的面积占土地总转移面积的比例;  $S_{ji}$  为第  $j$  种土地类型向第  $i$  种土地类型转移的面积;  $S_i$  为土地类型转移的总面积;  $n$  为土地利用类型数量;  $L_{i-}$  为第  $i$  类向除第  $i$  类外的其他土地类型转移的面积占土地总转移发生量的比例;  $S_{ij}$  为第  $i$  种土地类型的第  $j$  种土地类型转移的面积。

**2.2.2 生态系统服务评估** 鉴于阿拉善地处干旱荒漠区、草地面积占到总面积的 10% 以上、绿洲与荒漠并存等客观条件<sup>[20-21]</sup>, 本研究选取水土保持、水源涵养和碳储存 3 类关键生态系统服务, 利用 InVEST 模型对阿拉善的生态系统服务功能进行核算。在此基础上, 依据生态服务功能特点, 采用影子工程法、生产成本法, 替代市场价格法将 3 类评估指标货币化<sup>[22-23]</sup>, 统一核算为生态系统服务价值 (Ecosystem Services Value, 以下简称“ESV”); 评估过程中涉及相关生产建设成本、费用主要数据采用侯元兆等<sup>[24]</sup>测定的固碳成本和 2008 年国家林业局颁布的《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T1721—2008) 社会公共数据推荐使用价格<sup>[25]</sup>。InVEST 模型公式如下:

土壤保持采用通用土壤流失方程 USLE 对区域土壤侵蚀量进行估算。计算公式如下:

$$USLE = R \times K \times LS \times C \times P \quad (4)$$

$$RKLS = R \times K \times LS \quad (5)$$

$$SD = RKLS - USLE \quad (6)$$

式中: USLE, RKLS, SD 分别为栅格单元  $x$  的实际土壤流失量 (t)、潜在土壤流失量 (t) 和土壤保持量 (t);  $R$  为降水侵蚀性因子  $[(MJ \cdot mm)/(hm^2 \cdot h \cdot a)]$ ;  $K$  为土壤可蚀性因子  $[(t \cdot hm^2 \cdot h)/(hm^2 \cdot MJ \cdot mm)]$ ;  $LS, C, P$  分别为坡长坡度因子、植被覆盖因子、水土保持措施因子。

水源涵养基于水量平衡原理, 通过降雨量与实际蒸散量的差值计算出产水量, 表征研究区的水源涵养量。计算公式如下:

$$Y_{xj} = (1 - \frac{AET_{xj}}{P_x}) \times P_x \quad (7)$$

式中:  $Y_{xj}$  为栅格单元  $x$  中土地利用类型  $j$  的年水源涵养量 (mm);  $P_x$  为栅格单元  $x$  的年均降雨量 (mm);  $AET_{xj}$  为土地利用类型  $j$  上栅格单元  $x$  的实际年平均蒸散发量 (mm)。

碳储存 InVEST 碳储量服务功能评价包括地上物质、地下物质、枯枝落叶和土壤碳储量, 以上 4 部分碳储量求和获得总碳储量。计算公式如下:

$$C_{\text{stored}} = C_{\text{above}} + C_{\text{below}} + C_{\text{soil}} + C_{\text{dead}} \quad (8)$$

式中:  $C_{\text{stored}}$  为总碳储量 ( $t/hm^2$ );  $C_{\text{above}}$  为地上物质碳储量;  $C_{\text{below}}$  为地下物质碳储量;  $C_{\text{soil}}$  为土壤碳储量;  $C_{\text{dead}}$  为枯枝落叶碳储量。

生态系统服务价值计算公式如下:

$$ESV = \sum_{i=1}^n (A_i \times VA_i) \quad (9)$$

式中: ESV 为生态系统服务功能总价值;  $i$  为生态系统服务类型;  $n$  为生态系统服务类型总数;  $A_i$  为  $i$  类生态系统功能产生的服务量;  $VA_i$  为  $i$  类服务功能的单位价格。

**2.2.3 土地利用对生态系统服务影响分析** 本研究采用分区统计和冷热点分析方法来研究土地利用变化对生态系统服务影响。其中, 分区统计通过叠加土地利用变化图与生态系统服务价值图, 分析不同土地利用类型下生态系统服务价值变化; 同时, 借助 ArcGIS 空间聚类中的冷热点分析工具对阿拉善生态系统服务的冷热点区域进行识别, 旨在对一些热点区域详细分析, 进一步验证土地利用变化对生态系统服务功能的影响。

## 3 结果与分析

### 3.1 2000—2015 年阿拉善土地利用变化

由表 1 可知, 2000—2015 年, 未利用土地始终是阿拉善最主要的土地利用类型, 占全区总面积的 80% 以上; 其次是草地, 占全区总面积的 10% 以上。从各地类



面积变化来看,2000—2015 年,草地和未利用土地的面积变化明显,其中,草地面积持续增加,16 a 共增加 394 km<sup>2</sup>;未利用土地和林地面积持续减少,2010—2015 年减速明显加快,其中未利用土地面积在 2000—2010 年,2010—2015 年分别减少 102,630 km<sup>2</sup>。从土地动态度来看,2000—2010 年,各地类动态度趋缓,水域动态度最高,为 0.82%;2010—2015 年,建设用地和耕地面积变化剧烈,动态度分别为 40.75%,3.73%,研究区土地利用开发程度逐渐加大。

从土地利用转移矩阵的分析来看(表 2),2000—2015 年,转入贡献率最高的土地利用类型是草地,土

地转入面积为 2 301 km<sup>2</sup>,转入贡献率为 45.55%,其主要转入来源是未利用土地(占草地总转入量的 91%)。从转出贡献率来看,建设用地转换的几率很小,仅为 0.51%,耕地和水域转出贡献率所占比重同样较小。研究区转出贡献率最高的土地利用类型是未利用土地,土地转出面积为 2 615 km<sup>2</sup>,转出贡献率为 51.76%,其主要流向为草地和建设用地。由此可见,未利用土地是草地和建设用地的主要转入来源,随着研究区生态恢复治理工程的实施和城市化进程的加快,未利用土地会持续减少,研究区 ESV 总量有望持续增加。

表 1 2000—2015 年阿拉善土地利用类型面积变化量及土地动态度

土地利用类型	面积/km <sup>2</sup>			面积变化量/km <sup>2</sup>		动态度/%	
	2000 年	2010 年	2015 年	2000—2010 年	2010—2015 年	2000—2010 年	2010—2015 年
耕地	381	408	484	27	76	0.71	3.73
林地	1359	1346	1290	−13	−56	−0.10	−0.83
草地	25521	25565	25915	44	350	0.02	0.27
水域	718	777	819	59	42	0.82	1.08
建设用地	107	107	325	0	218	0.00	40.75
未利用土地	211371	211269	210639	−102	−630	−0.005	−0.06

表 2 2000—2015 年阿拉善土地利用变化转移矩阵

年份	土地利用类型	2015 年转移面积/km <sup>2</sup>						转出面积/km <sup>2</sup>	转出贡献率/%
		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用土地		
2000 年	耕地	282	8	14	4	4	37	67	1.33
	林地	11	988	164	14	4	98	291	5.76
	草地	31	111	23220	50	30	1709	1931	38.22
	水域	17	4	28	545	0	73	122	2.41
	建设用地	3	0	5	1	63	17	26	0.51
	未利用土地	97	107	2090	132	189	209047	2615	51.76
	转入面积	159	230	2301	201	227	1934	5052	
	转入贡献率/%	3.15	4.55	45.55	3.98	4.49	38.28		

3.2 2000—2015 年阿拉善生态系统服务价值变化

3.2.1 生态系统服务总价值变化 阿拉善 2000 年、2010 年、2015 年的 ESV 分别为 1 025.26 亿元,1 109.09 亿元,1 237.70 亿元,16 a 增加 212.44 亿元,呈现逐年增长趋势。从不同时段来看(图 2),2000—2010 年,阿拉善 ESV 增长区占研究区面积的 67.16%,13.44%的地区 ESV 有所减弱,减弱区主要集中在阿拉善左旗东南大部分地区和阿拉善右旗南部边缘地区,ESV 保持不变的区域占研究区总面积的 19.4%;2010—2015 年,研究区 ESV 增强区域有所减少,仅占总面积的 59.47%,ESV 增加较大的区域集中在阿拉善左旗东部贺兰山地区;21.22%的地区 ESV 呈减弱趋势,主要分布在阿拉善右旗南部边缘,ESV 保持不变的区域与 2000—2010 年相比变化不大。

3.2.2 单项生态系统服务价值变化 由图 3 可以看出,研究区生态系统各项服务功能产生的价值大小排

序为:土壤保持>碳储存>水源涵养。其中,研究区土壤保持功能呈自东向西高一低一中的带状分布特征,200 万元以下的低值区占主体,200 万元以上的区域镶嵌其中,主要分布在阿拉善左旗乌兰布和沙漠边缘防风固沙区和东部贺兰山保护区,与宁夏交界的贺兰山地区土壤保持价值高达 1 000 万元以上,且在 16 年间增值明显。碳储存功能的分布格局清晰,高值区主要分布在阿拉善左旗孛井滩生态移民示范区、贺兰山保护区和额济纳旗的黑河下游居延海地区,单位碳储存价值在 100 万元以下的地区集中在额济纳旗西部和阿拉善右旗,2015 年阿拉善左旗东北部边缘和吉兰泰附近地区的碳储存价值与 2000 年相比增加明显。水源涵养价值在空间上呈现由东南向西北逐渐减少的分布特征,单位水源涵养价值在 20 万元以上的地区主要位于阿拉善左旗南部腾格里沙漠之中,这些高值区之间并未绵延连续,而是夹

杂在水源涵养价值低至 5 万元以下的地区;2010 年的水源涵养价值与 2000 年相比有所下降,2010—2015 年,研究区单位水源涵养价值整体上升,其中,

阿拉善左旗西北部、李井滩生态移民示范区以及额济纳旗东居延海地区的单位水源涵养价值增值明显,达到(5~10)万元。

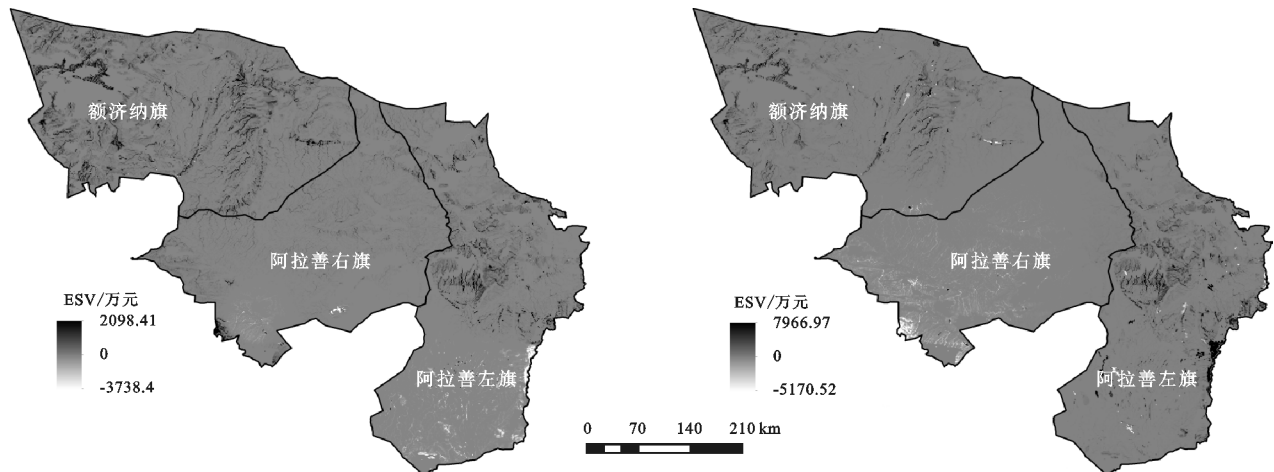


图 2 2000—2015 年阿拉善生态系统服务价值变化

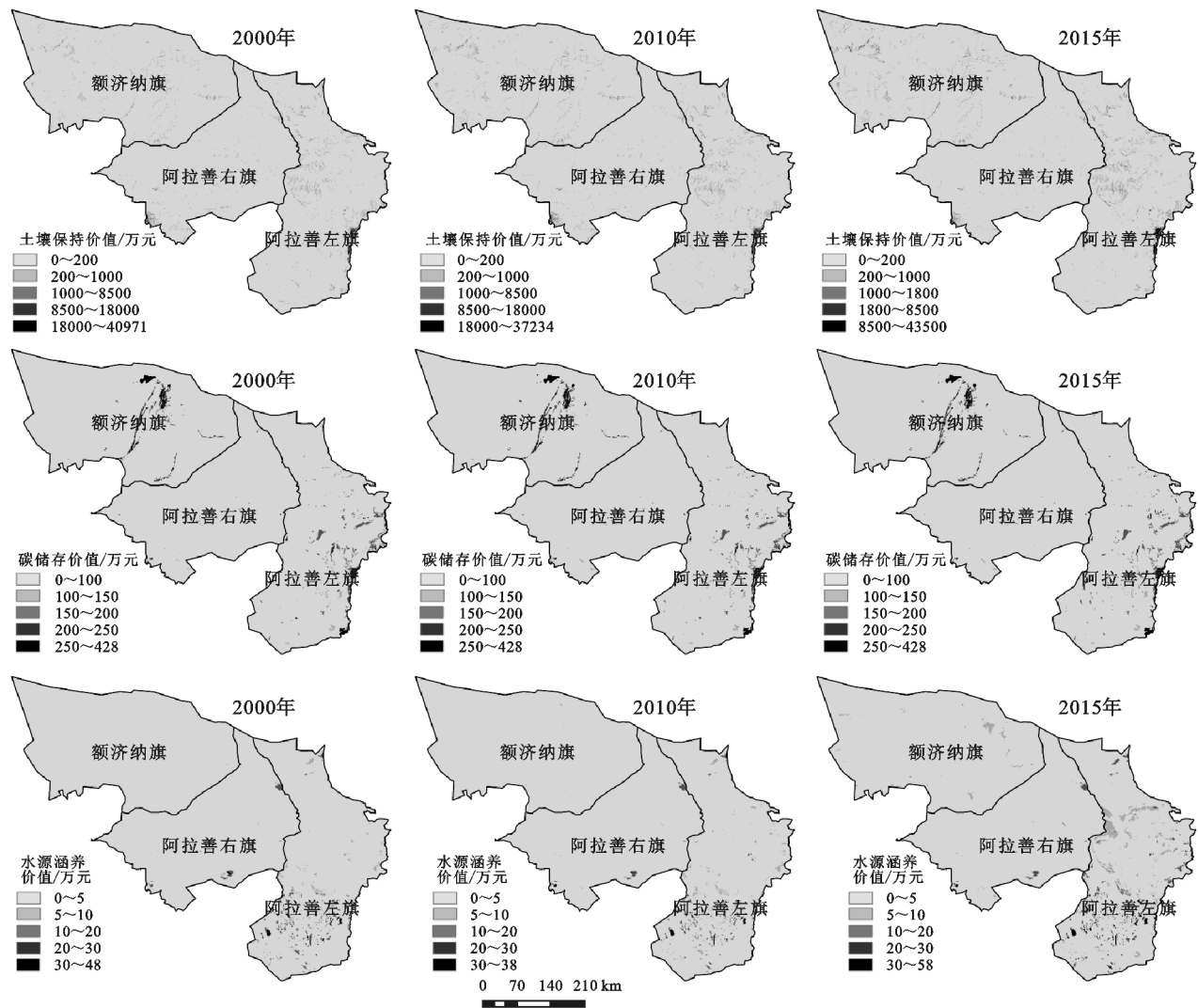


图 3 阿拉善单项生态系统服务价值变化

**3.3 土地利用变化对生态系统服务价值的影响分析**  
2000—2015 年,在生态工程、政策以及城市化等因素的直接影响下,阿拉善土地利用结构发生显著改变,

并对区域 ESV 产生明显影响(表 3)。从各地类生态系统服务价值变化量来看,草地和未利用土地是导致研究区 ESV 发生变化的主要地类,二者 ESV 变化量合占变

化总量的 77.40%~95.99%,其中,草地 2010—2015 年的 ESV 变化量与 2000—2010 年相比增加近 1 倍,从占变化总量的 48.38%上升到 63.27%,未利用土地 2010—2015 年 ESV 变化量与 2000—2010 年相比减少一半以上,从占变化总量的 46.00%下降到 14.12%;2000—2010 年受土壤保持和水源涵养功能下降的影响,耕地 ESV 损失 0.6 亿元,成为唯一 ESV 总量减少的土地利用类型。从不同土地利用类型 ESV 对区域 ESV 的贡献率来看,草地贡献最大并呈持续增加趋势,2015 年贡献率达到 49.5%,其中土壤保持功能突出;未利用土地 ESV 逐年增加,但贡献率呈现先增加后减少趋势,2015 年贡献率减少至 34.2%;林地 2015 年的贡献率与 2000 年相比下降 0.6%,与林地面积减少、碳储存功能减弱有关;耕地和水域的 ESV 贡献率变化不大,建设用地 2015 年的贡献率与 2000 年相比增加 0.5%,主要受 2010—2015 年建设用地面积快速增加的影响。

基于 2000—2015 年阿拉善土地利用类型及生态系统服务价值,运用 ArcGIS 的冷热点分析工具将阿拉善划分为 5 个热点地区(图 4),分别为阿拉善左旗东部边缘、阿拉

善左旗西北部、阿拉善右旗南部边缘、额济纳旗黑河下游及其西部边缘地区。阿拉善左旗东部边缘有黄河过境,且贺兰山保护区生态恢复成效显著,是乌兰布和生态沙产业示范区和李井滩生态移民示范区所在地,该地区近年来聚集了绿色养殖、沙生林草产业,土地利用类型以林地、草地和水域为主,导致 ESV 高值集聚;阿拉善左旗西北部位于乌兰布和沙漠边缘,是国家重点生态恢复地区,随着梭梭—肉苁蓉等沙生资源植物产业示范基地的建立,大部分未利用土地转化为草地,导致 ESV 持续增加;阿拉善右旗以未利用土地为主,中北部巴丹吉林沙漠广布,沙漠扩张以及草地转化为沙漠导致南部边缘 ESV 热点区面积缩小,冷点区呈现向东南扩张趋势;额济纳旗黑河下游及西部边缘地区在绿洲抢救与生态保护工程实施下,胡杨林及天然灌草绿色植被开始恢复,ESV 热点区土地利用类型主要为林地和草地,值得注意的是西居延海热点逐渐消失,表明西居延海的生态系统服务功能持续下降,价值持续降低。这些热点区域是阿拉善重点生态恢复区域,相对自然因素,人类活动改变土地利用类型是导致 ESV 快速集中变化的原因。

表 3 2000—2015 年阿拉善各地类生态系统服务价值变化

土地利用类型	2000 年				2010 年				2015 年				ESV 变化量	
	ESV/亿元			贡献率/%	ESV/亿元			贡献率/%	ESV/亿元			贡献率/%	2000—2010 年	2010—2015 年
	土壤保持	水源涵养	碳储存		土壤保持	水源涵养	碳储存		土壤保持	水源涵养	碳储存			
耕地	8.6	0.3	4.1	1.3	8.0	0.2	4.4	1.1	10.1	0.5	5.2	1.3	-0.4	3.2
林地	83.9	0.1	31.5	11.3	85.9	0.1	31.2	10.6	102.8	0.2	29.9	10.7	1.7	15.7
草地	338.5	2.9	148.5	47.8	378.7	3.0	149.1	47.9	451.8	7.3	153.1	49.5	41.0	81.4
水域	10.0	0.0	28.0	3.7	10.7	0.0	29.8	3.6	13.4	0.0	30.7	3.5	2.6	3.6
建设用地	2.7	0.0	0.0	0.3	2.8	0.0	0.0	0.3	9.4	0.0	0.0	0.8	0.1	6.7
未利用土地	364.8	1.5	0.0	35.7	404.0	1.3	0.0	36.6	421.7	1.7	0.0	34.2	39.0	18.2

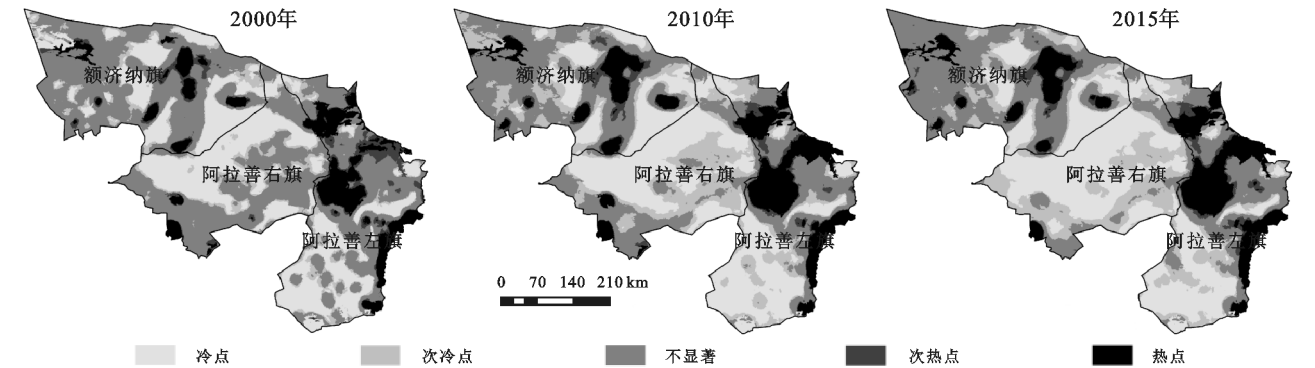


图 4 2000—2015 年阿拉善生态系统服务价值热点空间分布

4 结论与讨论

2000—2015 年,受生态恢复治理工程和城市化进程的影响,阿拉善土地利用变化明显,表现为草地面积显著增长,未利用土地面积大幅减少,建设用地和耕地面积变化剧烈。这种变化,特别是退牧还草和飞播造林工程的实施将未利用土地转化为草地,有效

阻止了人类活动对生态系统的破坏,生态移民政策的实施将未利用土地转化为耕地、水渠和建设用地,使生态系统服务功能逐渐恢复和增强,有利于实现区域的可持续发展。

2000—2015 年,研究区生态系统服务总价值增加 212.44 亿元,东部地区增加尤为显著,其中,草地对 ESV 的贡献最大,2015 年贡献率达到 49.5%;除



耕地 ESV 在 2000—2010 年有所减少外,其他土地利用类型 ESV 均呈现上涨趋势;研究区单项 ESV 中除水源涵养价值在 2000—2010 年减少 0.2 亿元外,土壤保持和碳储存价值均呈现增加趋势,阿拉善左旗腾格里沙漠零星分布有草地和沼泽,是水源涵养服务功能的高值聚集区,水源涵养价值的下降与腾格里沙漠地区沼泽地的减少有关;阿拉善 3 个旗县的 ESV 在空间上呈现自东至西高一低一中分布格局,阿拉善左旗近些年受沙生林草产业发展以及生态移民示范区建设的影响,土地利用方式变化较大,未利用土地面积减少,草地和耕地面积增多以及水渠的修建促使阿拉善左旗的 ESV 持续增加;阿拉善右旗东邻腾格里沙漠与乌兰布和沙漠,区域内巴丹吉林沙漠广布,受此影响该地区生态系统服务价值极低,生态恢复任务艰巨;位于黑河下游的额济纳绿洲的土地利用类型以林地和草地为主,是碳储存价值高值聚集区,其中,居延海地区的单位碳储存价值为 250~428 万元,是研究区社会经济发展的重要碳储存功能服务区,因此西居延海热点区的消失需要得到足够重视,在今后的生态恢复过程中应该优先保护。

本文采用一级土地利用分类标准,运用 InVEST 以量化的方式空间化的展现生态环境问题,可以较好地解释土地利用变化与生态系统服务价值变动的内在联系。但受数据获取等因素影响,本研究选取的生态系统服务范围相对有限,文化旅游、防风固沙、生境质量等生态系统服务将在未来研究中做进一步深入分析;同时,精细尺度的土地利用变化影响以及气候变化影响分离问题仍需进一步考虑和完善,进而为深入理解区域土地利用变化对干旱荒漠区生态系统服务影响提供更有力的支撑。

#### 参考文献:

- [1] 唐尧,祝炜平,张慧,等. InVEST 模型原理及其应用研究进展[J].生态科学,2015,34(3):204-208.
- [2] 程磊磊,郭浩,卢琦.荒漠生态系统服务价值评估研究进展[J].中国沙漠,2013,33(1):281-287.
- [3] 郭兵,孔维华,姜琳.西北干旱荒漠生态区脆弱性动态监测及驱动因子定量分析[J].自然资源学报,2018,33(3):412-424.
- [4] 王涛,吴薇,赵哈林,等.科尔沁地区现代沙漠化过程的驱动因素分析[J].中国沙漠,2004,24(5):519-528.
- [5] 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,2009,39(4):516-528.
- [6] 王子玉,许端阳,杨华,等.1981—2010 年气候变化和人类活动对内蒙古地区植被动态影响的定量研究[J].地理科学进展,2017,36(8):1025-1032.
- [7] 赵振勇,王让会,张慧芝,等.塔里木河下游荒漠生态系统退化机制分析[J].中国沙漠,2006,26(2):220-225.
- [8] 孔君洽,杨荣,苏永中,等.基于土地利用/覆被变化的荒漠绿洲碳储量动态评估[J].生态学报,2018,38(21):7801-7812.
- [9] 陈淑青.基于生态安全指数的荒漠生态系统生态安全评价[D].北京:北京林业大学,2016.
- [10] Cabral P, Feger C, Levrel H, et al. Assessing the impact of land-cover changes on ecosystem services: A first step toward integrative planning in Bordeaux, France[J]. Ecosystem Services, 2016,22:318-327.
- [11] 张文华.基于 InVEST 模型的锡林郭勒草原土地利用/土地覆被变化与生态系统服务研究[D].呼和浩特:内蒙古大学,2016.
- [12] 孙滨峰,赵红,逯非,等.东北森林带森林生态系统固碳服务空间特征及其影响因素[J].生态学报,2018,38(14):4975-4983.
- [13] 熊鹰,张方明,龚长安,等. LUCC 影响下湖南省生态系统服务价值时空演变[J].长江流域资源与环境,2018,27(6):1397-1408.
- [14] 殷格兰,邵景安,郭跃,等.林地资源变化对森林生态系统服务功能的影响:以南水北调核心水源地淅川县为例[J].生态学报,2017,37(20):6973-6985.
- [15] 马依拉·热合曼,买买提·沙吾提,尼格拉·塔什甫拉提,等.基于遥感与 GIS 的渭库绿洲生态系统服务价值时空变化研究[J].生态学报,2018,38(16):5938-5951.
- [16] 吴瑞,刘桂环,文一惠.基于 InVEST 模型的官厅水库流域产水和水质净化服务时空变化[J].环境科学研究,2017,30(3):406-414.
- [17] Taylor N T, Davis K M, Abad H, et al. Ecosystem services of the big bend region of the chihuahuan desert [J]. Ecosystem Services, 2017,27:48-57.
- [18] 王翠萍.库布齐沙漠中段沙化土地动态变化及驱动力分析[J].林业资源管理,2018(1):63-71,154.
- [19] 刘金勇,孔繁花,尹海伟,等.济南市土地利用变化及其对生态系统服务价值的影响[J].应用生态学报,2013,24(5):1231-1236.
- [20] Hadley N F, Szarek S R. Productivity of desert ecosystems[J]. Bioscience, 1981,31(10):747-753.
- [21] Bidak L M, Kamal S A, Halmy M W A, et al. Goods and services provided by native plants in desert ecosystems: Examples from the northwestern coastal desert of Egypt[J]. Global Ecology and Conservation, 2015,3:433-447.
- [22] 李青,王娇,李博,等.荒漠生态系统服务功能货币化评估:以塔里木河干流胡杨林为例[J].干旱区资源与环境,2016,30(7):47-52.
- [23] 高程,王金亮,刘广杰.区域生态资产价值评估研究:以抚仙湖流域为例[J].环境科学导刊,2018,37(2):12-17.
- [24] 侯元兆,王琦.中国森林资源核算研究[J].世界林业研究,1995(3):51-56.
- [25] 中华人民共和国国家林业局.森林生态系统服务功能评估规范 LY/T1721—2008[S].北京:中国标准出版社,2008.