

# 1981—2010 年内蒙古沙漠化演变对区域生态系统服务价值的影响

丁雪<sup>1</sup>, 雷国平<sup>1,3</sup>, 许端阳<sup>2</sup>, 李达净<sup>4</sup>, 王子玉<sup>5</sup>

(1. 东北农业大学 资源与环境学院, 哈尔滨 150030; 2. 中国科学院 地理科学与资源研究所 陆地表层格局与模拟院重点实验室, 北京 100101; 3. 东北大学 土地管理研究所, 沈阳 110819; 4. 华中师范大学 农村改革发展协同创新中心, 武汉 430000; 5. 北京林业大学 林学院, 北京 100101)

**摘要:**土地沙漠化是生态系统服务价值变化的重要影响因素,文章基于 NDVI 等多源数据与 GIS、敏感性分析方法,分析了 1981—2010 年内蒙古地区沙漠化演变对区域生态系统服务价值的影响。结果表明:(1) 1981—2010 年,内蒙古地区沙漠化面积净增加 6.92 万 km<sup>2</sup>,但总体沙漠化程度有所改善。沙漠化逆转区域主要集中于内蒙古西南部的鄂尔多斯与阿拉善,而沙漠化发展区域主要发生在中北部的科尔沁和浑善达克。(2) 生态系统服务总价值减少 671.57 亿元;沙漠化演变对生态系统服务价值具有中度线性相关关系,其造成生态系统服务价值损失比例为 23.7%。(3) 沙漠化演变对沙区生态系统服务价值变化的影响具有空间异质性,在鄂尔多斯、浑善达克等地表现为促进作用,在土默特、内蒙后山等表现为反向作用。(4) 各沙区生态系统服务价值对沙漠化演变敏感度差异明显;科尔沁、河套平原等地敏感性指数高于 50,而呼伦贝尔、内蒙后山等则小于 1。该结果可为内蒙古自治区的科学土地规划、生态保护及可持续发展提供重要参考。

**关键词:**沙漠化;生态系统服务价值;时空演变;内蒙古

**中图分类号:**F301;K903

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2018)01-0298-06

## Impact of Desertification Dynamics on Regional Ecosystem Service Values in Inner Mongolia from 1981 to 2010

DING Xue<sup>1</sup>, LEI Guoping<sup>1,3</sup>, XU Duanyang<sup>2</sup>, LI Dajing<sup>4</sup>, WANG Ziyu<sup>5</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. Research Institute of Land Management, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 4. Collaborative Innovation Center of Rural Reform and Development, Central China Normal University, Wuhan 430079, China; 5. College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Desertification is an important factor influencing the change of ecosystem service values. The desertification dynamics in Inner Mongolia from 1981 to 2010 and its impact on regional ecosystem service values were analyzed by combining multi-source data such as NDVI, GIS and the sensitivity analysis method. The results showed that: (1) although the area of deserted land in Inner Mongolia increased 69 200 km<sup>2</sup> from 1981 to 2010, the overall degree of desertification had been controlled; the regions experiencing desertification reversion mainly concentrated in the southwest of Inner Mongolia such as Ordos and Alxa, and the areas undergone desertification expansion mainly occurred in Horqin and Otindag; (2) the total ecosystem service value decreased by 67.157 billion Yuan, and desertification dynamics had moderate linear correlation with ecosystem service value, which caused 23.7% decrease of ecosystem service value; (3) the impacts of desertification dynamics on the change of ecosystem service value in different sandy regions had spatial heterogeneity, which had promoting effects in Erdos, Otindag etc., and reverse effects in Tumd, Houshan etc.; (4) the

收稿日期:2016-12-31

修回日期:2017-03-10

资助项目:国家自然科学基金(71573245);国家重点研发计划(2016YFC0501002)

第一作者:丁雪(1992—),女,达斡尔族,黑龙江嫩江人,硕士研究生,主要从事土地利用与生态等方面的研究。E-mail:dingxue92@126.com

通信作者:雷国平(1963—),男,黑龙江青冈人,教授,博士生导师,主要从事土地利用规划与土地管理研究。E-mail:guopinglei@126.com

许端阳(1983—),男,河南洛阳人,副研究员,主要从事气候变化与沙漠化、科技政策与管理等方面的研究。E-mail:xudy@istic.zc.cn

sensitivity of ecosystem service value to desertification dynamics in different sandy regions also had obvious differences; for example, sensitivity index could reach up to more than 50 in Horqin and Hetao Plain, while it also could be lower than 1 in Hulun Buir and Houshan region. These results of the study can provide the important reference for the scientific land planning, ecological protection and sustainable development in Inner Mongolia.

**Keywords:** desertification; ecosystem services value; spatiotemporal evolvement; Inner Mongolia

土地沙漠化是指干旱、半干旱及部分半湿润地区因人类活动和气候变异,导致土壤中细粒物质及营养物质被风吹走,土地生产力下降、地表呈现不同程度的沙质荒漠景观的土地退化<sup>[1-2]</sup>。我国是受沙漠化影响最为严重的国家之一,根据全国第五次荒漠化监测结果,截至2014年末我国沙漠化土地面积达到172.12万km<sup>2</sup>,占国土面积的17.87%<sup>[3]</sup>。为了控制土地沙漠化,我国先后实施了三北防护林、京津风沙源治理、退耕还林(草)、围封禁牧等生态保护工程与政策<sup>[4-5]</sup>,造成局部沙漠化得以逆转,但总体形势依然十分严峻。

作为陆地生态系统的重要组成部分,沙漠及沙化土地具有重要的生态系统服务功能,如防风固沙、固碳释氧、水文调节、土壤保持、维持生物多样性、生态旅游等<sup>[6]</sup>。在气候变化和人类活动的共同影响下,沙漠化土地的结构、功能也随之发生变化,进而对区域生态系统服务价值产生显著的影响<sup>[7]</sup>。如在沙漠化逆转过程中,植被群落及优势种逐渐由天然零星分布的一年生草本植物向半灌木和多年生草本演变,植被物种丰富度、植被盖度逐渐提高,土壤沙粒含量逐渐减少,表层土壤有机质含量、有机碳储量逐渐升高,生态系统服务价值也会显著提升<sup>[8]</sup>。同时,岳耀杰等诸学者的研究表明,当前人们利用沙漠及沙化土地所提供的物质产品仅是其生态系统服务功能的一小部分,其内部还蕴藏着巨大的生态经济价值<sup>[9-10]</sup>。然而,目前许多研究仅将其作为陆地生态系统的一部分进行宏观分析<sup>[11]</sup>,很少从沙漠化土地面积、程度及空间分布变化的角度探讨其对区域生态服务价值的影响。因此,有必要针对干旱—半干旱地区开展沙漠化动态变化对区域生态系统服务价值影响的研究,这对于评估沙漠化治理成效,合理保护与经营区域生态系统具有重要意义。

内蒙古地处北部边疆,长期以来,受恶劣的气候条件以及过度放牧等人为因素的影响,该区沙漠生态系统逐渐占据发展优势<sup>[12]</sup>;虽然近年来实施了多项生态保护工程与政策,局部地区沙漠化治理成效显著,但全区沙漠化情况依然较为严峻。因此,本文选择内蒙古自治区为研究区:(1)分析1981—2010年该地区沙漠化动态变化;(2)研究沙漠化动态变化对区域生态系统服务价值的影响,旨在为区域沙漠化防治提供科学依据和决策支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

内蒙古自治区位于37°24′—53°23′N,97°12′—126°04′E,东西直线距离约2400 km,土地面积118.3万km<sup>2</sup>,占全国总面积的12.3%。地处干旱、半干旱温带大陆性气候向东南沿海湿润、半湿润季风气候的过渡带,降水量由东北向西南逐渐减少,年均降水量50~450 mm;年均气温0~8℃,且东西差异显著。受气温、降水等气候因素影响,内蒙古地区整体呈现出东部地区森林辽阔、南部地区以农业发展为主、北部地区畜牧业发达的空间分布形态。据统计,全区森林面积约20.80万km<sup>2</sup>,草原面积约86.67万km<sup>2</sup>,不同区域之间植被覆盖率差异显著;土壤从东北到西南依次为黑土、暗棕壤、黑钙土、栗钙土、棕壤土、黑垆土、灰钙土、风沙土、灰棕漠土,呈条带状分布。为了便于沙漠化监测与分析,根据全区植被、土壤以及沙漠化土地的空间分布规律,将其划分为呼伦贝尔草原(呼伦贝尔)、锡林郭勒草原和浑善达克沙地(浑善达克)、科尔沁草原、察哈尔草原、乌兰察布草原、内蒙古高原后山地区(内蒙后山)、河套平原、乌兰察布盟前山和土默特草原(土默特)、阿拉善高原(阿拉善)、鄂尔多斯草原和毛乌素沙地(鄂尔多斯)10个沙区。

### 1.2 研究方法

1.2.1 沙漠化判别方法 为满足研究需要,本文将研究区土地利用类型中的未利用地细分为轻度沙漠化、中度沙漠化、重度沙漠化、极重度沙漠化、原生沙漠5类,加之城镇、水域、森林、草地、农田共计10个小类。以年度归一化植被指数总和(以下简称NDVI)为判别沙漠化程度的重要指标,对1981年和2010年两个时段沙漠化程度进行判别与统计,步骤如下:(1)非沙漠化土地提取。在实地考察的基础上,利用1:100000土地利用图提取城镇、水域、森林、农田的分布区域;考虑内蒙古地区草地退化现象严重,利用高分辨率遥感影像,针对每个沙区选择100个可以明显判别为未退化草地的样点,提取1981—2010年均NDVI值,建立未退化草地NDVI阈值表,进而提取未退化草地并与上述城镇等区域合并作为非沙漠化区域。(2)沙漠化土地提取。按照

上述草地 NDVI 阈值表建立的规则,同步确定了不同沙区原生沙漠的 NDVI 阈值;根据草地与原生沙漠的 NDVI 阈值情况,按照等间距划分原则,建立轻度、中度、重度、极重度沙漠化 NDVI 阈值体系。为避免气候短期波动带来的误差,采用相邻 3 a 的 NDVI 均值来提取 1981 年和 2010 年的沙漠化土地信息。本研究在每个沙区随机选取 50 个点对分类结果进行验证,总体分类精度达 90% 以上。

### 1.2.2 生态系统服务价值评估 本文借鉴谢高地改

表 1 内蒙古自治区单位面积生态服务价值

万元/km<sup>2</sup>

森林	草地	农田	水域	轻度沙漠	中度沙漠	重度沙漠	极重度沙漠	原生沙漠
126.29	52.41	35.48	203.67	47.17	39.31	26.21	18.34	6.24

$$V = \sum_{i=1}^n P_i \times A_i \quad (1)$$

式中:  $V$  为研究区生态系统服务总价值(万元);  $P_i$  为表 1 中不同生态系统服务价值基准单价(万元/km<sup>2</sup>);  $A_i$  为研究区内土地利用/覆被类型的面积(km<sup>2</sup>);  $n$  为土地利用/覆盖类型的数量。

$$P_{ij} = (b_j \times cB)P_i \quad (2)$$

式中:  $P_{ij}$  为单位面积生态系统服务价值(万元/km<sup>2</sup>);  $b_j$  为 NDVI 数据中  $j$  类型生态系统的平均值;  $B$  为 1981—2010 年各生态系统 NDVI 年均值。

### 1.2.3 敏感性分析 本研究引入敏感度系数(SAF)分析沙漠化演变对区域生态系统服务价值变化的敏感程度,计算公式如下:

$$SAF = \frac{(VC' - VC)/VC}{(S' - S)/S} \quad (3)$$

式中:  $VC$  代表 1981 年沙漠生态系统服务价值;  $VC'$  代表 2010 年沙漠生态系统服务价值;  $S$  代表 1981 年生态系统服务总价值;  $S'$  代表 2010 年生态系统服务总价值。越大,表明生态系统服务价值对沙漠化演变越敏感;  $|SAF|$  反之,则不敏感。

### 1.3 数据来源

本研究所用数据主要包括遥感影像、土地利用数据等。NDVI 数据中,1981—2006 年为 8 km 分辨率的 GIMMS NDVI 数据,来源于美国航空航天局全球监测与模型研究组发布的 16 d 最大值合成数据;2007—2010 年为 1 km 分辨率的 MODIS NDVI 数据;精度为 1 km 的土地利用数据来源于中国科学院资源环境数据中心;用于生成研究区边界数据的全国县级行政区划图来源于国家基础地理中心。考虑到所有数据中最低的分辨率,本研究将所有栅格、矢量数据统一重采样或转换为分辨率为 8 km×8 km 的空间数据。

## 2 结果与分析

### 2.1 1981—2010 年内蒙古沙漠化动态变化

由图 1 看出,1981—2010 年,内蒙古沙漠化土地面

积有所扩大,从 1981 年的 55.53 万 km<sup>2</sup> 增加至 2010 年的 62.45 万 km<sup>2</sup>。除原生沙漠面积减少 2.80 万 km<sup>2</sup>,轻度沙漠化、中度沙漠化、重度沙漠化、极重度沙漠化均呈现出不同程度的增加,其中中度沙漠化增加最为明显,较 1981 年增加了 48.77%。沙漠化不同等级之间、沙漠化和非沙漠化土地之间的逆转和发展同样显著,且具有明显的空间异质性。30 a 间,内蒙古地区沙漠化逆转面积 17.09 万 km<sup>2</sup>,发展面积 20.43 万 km<sup>2</sup>。

沙漠化逆转区域主要位于西南部的鄂尔多斯、阿拉善、乌兰察布等地区,其中鄂尔多斯逆转面积占内蒙古自治区沙漠化土地面积的 8.71%,阿拉善、乌兰察布等地区的逆转面积也分别达到了沙漠化面积的 8.33%,5.1%。不同沙漠化等级土地间的逆转占沙漠化总面积的 17.98%;而沙漠化地区逆转为非沙漠化地区占沙漠化总面积的 9.38%,主要以各沙漠化类型向草地的逆转为主。沙漠化发展主要发生在呼伦贝尔西南部、浑善达克、察哈尔等内蒙古中北部地区,其中浑善达克沙漠化发展占沙漠化总面积的比例最大,达 13.76%。沙漠化不同等级间发展面积占沙漠化土地总面积的 12.28%,类型上主要是向相邻较重等级沙漠化发展;而非沙漠化发展为沙漠化地区的面积近沙漠化等级间发展面积的 2 倍,以草地的沙漠化为主。

沙漠化逆转区域主要位于西南部的鄂尔多斯、阿拉善、乌兰察布等地区,其中鄂尔多斯逆转面积占内蒙古自治区沙漠化土地面积的 8.71%,阿拉善、乌兰察布等地区的逆转面积也分别达到了沙漠化面积的 8.33%,5.1%。不同沙漠化等级土地间的逆转占沙漠化总面积的 17.98%;而沙漠化地区逆转为非沙漠化地区占沙漠化总面积的 9.38%,主要以各沙漠化类型向草地的逆转为主。沙漠化发展主要发生在呼伦贝尔西南部、浑善达克、察哈尔等内蒙古中北部地区,其中浑善达克沙漠化发展占沙漠化总面积的比例最大,达 13.76%。沙漠化不同等级间发展面积占沙漠化土地总面积的 12.28%,类型上主要是向相邻较重等级沙漠化发展;而非沙漠化发展为沙漠化地区的面积近沙漠化等级间发展面积的 2 倍,以草地的沙漠化为主。

### 2.2 沙漠化演变对区域生态系统服务价值的影响

2.2.1 1981—2010 年内蒙古生态系统服务价值变化情况 1981—2010 年,内蒙古生态系统服务价值减少了 671.57 亿元(表 2),相当于内蒙古 2010 年 GDP 的 5.74%。从不同土地利用类型上看,森林、草地生态系统服务价值减少明显,二者总价值构成比例由 1981 年的 52.02% 下降至 2010 年的 44.18%。此外,原生沙漠的生态系统服务价值亦呈现降低趋势,变化率为 -19.12%。生态系统服务价值增加的土地利用类型主要为农田与沙漠化土地(轻度、中度、重度、极重度沙漠化),其中沙漠化土地增加了 199.71 亿元。

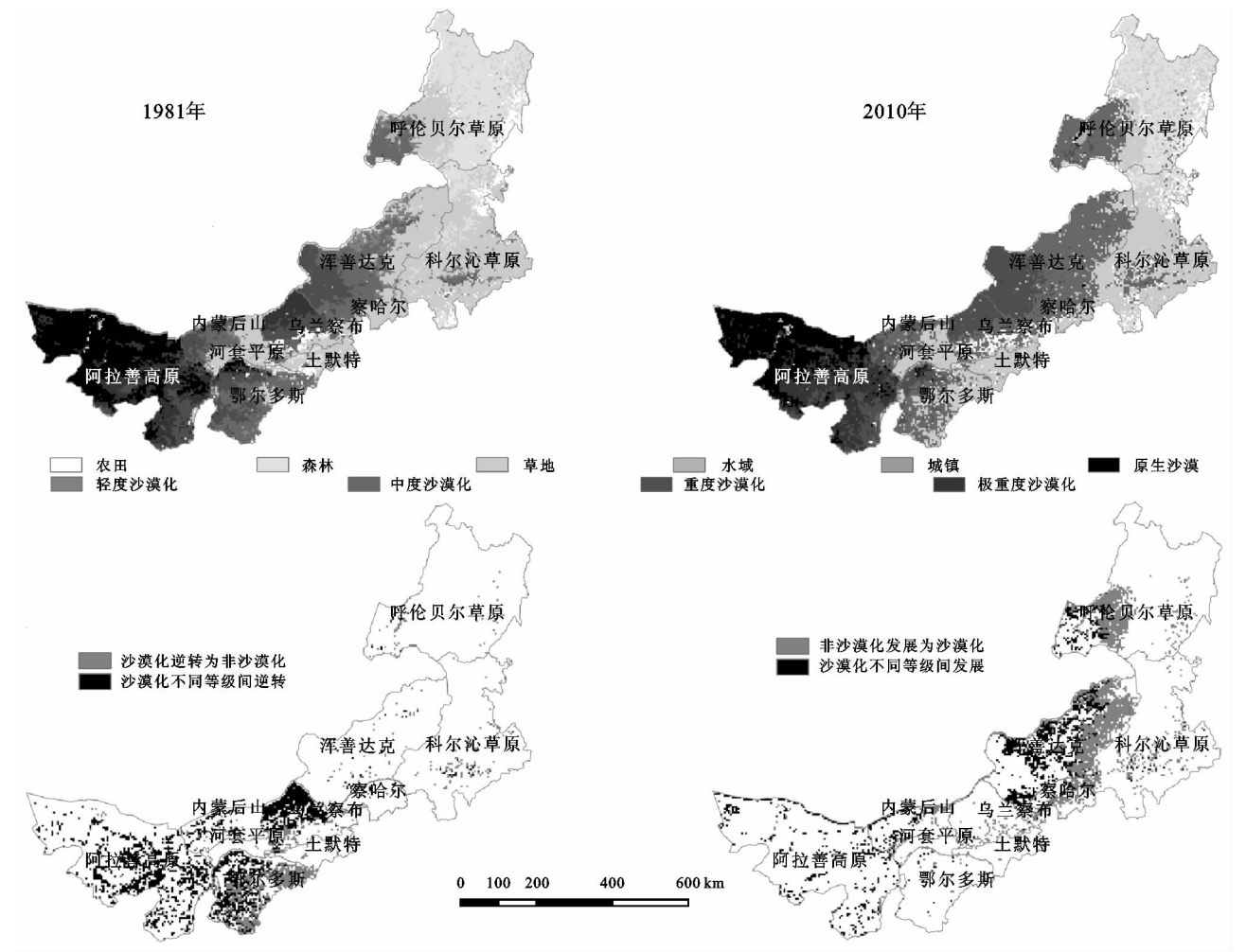


图 1 1981—2010 年内蒙古自治区土地利用及沙漠化变化

从空间分布上看,内蒙古自治区生态系统服务价值具有显著的空间异质性(图 2)。生态系统服务价值由东向西大致呈现出阶梯状分布,表现为东部高于西部、南部高于北部,且差异显著。其中,高值区(5 000~11 000 万元)主要位于内蒙古东北部的呼伦贝尔地区,单位栅格(64 km<sup>2</sup>)生态系统服务价值达到 5 000 万以上,而西部的阿拉善地区单位栅格生态系统服务价值不到 500 万元,这主要与植被的地带性分布密切相关。从区域变化上来看,相较于 1981 年,浑善达克东北部地区、呼伦贝尔中部地区生态系统服务价值有所减少,而鄂尔多斯东北部地区生态系统服务价值有所增加,其他地区则未发生明显变化。

2.2.2 沙漠化演变对内蒙古生态系统服务价值的总体影响 1981—2010 年,内蒙古土地沙漠化动态变化(逆转和发展)对全区生态系统服务价值带来了明显的影响,其造成生态系统服务价值损失达 158.9 亿元(表 3),占损失总量的 23.7%。生态系统服务价值变化量与沙漠化导致的生态系统服务价值变化之间的 Pearson 相关系数达到 0.634( $p<0.05$ ),也表明二者具有中度线性相关关系。

表 2 内蒙古自治区生态系统服务总价值

土地 类型	生态系统服务 价值/亿元		生态价值 变化量/亿元	变化率/ %
	1981 年	2010 年		
森林	3049.68	2293.53	-756.15	-24.80
草地	1816.48	1602.82	-213.67	-11.76
农田	153.76	182.53	28.77	18.71
水域	77.92	151.87	73.95	94.91
原生沙漠	21.91	17.72	-4.19	-19.12
轻度沙化	226.92	239.14	12.22	5.39
中度沙化	344.20	512.07	167.87	48.77
重度沙化	125.42	141.24	15.82	12.61
极重度	46.49	50.29	3.80	8.17
合计	5862.78	5191.21	-671.57	-11.46

土地沙漠化逆转导致的生态系统服务价值增加量共计 324.25 亿元,占 2010 年价值总量的 6.25%。沙漠化不同等级间逆转使生态系统服务价值增加了 100.47 亿元,其中,重度沙漠化逆转增加 41.70 亿元。沙漠化土地逆转为非沙漠化造成生态系统服务价值增加量约为沙漠化不同等级间逆转的 2.2 倍,仅逆转为草地就使生态系统服务价值增加 106.48 亿

元。在沙漠化发展方面,原有的沙漠化土地中有7.66万 km<sup>2</sup> 进一步发展,造成生态系统服务价值损失 101.68 亿元,其中以轻度、中度沙漠化发展的影响最为明显,二者共导致生态系统服务价值损失 93.2 亿元。非沙漠化发展为沙漠化的总面积 12.77 万 km<sup>2</sup>,

生态系统服务价值损失量 381.5 亿元,主要来自于林地、草地向轻度、中度沙漠化的转变。非沙漠化转变为沙漠化的影响巨大,虽然其面积仅是不同沙漠化等级之间发展的 1.67 倍,但造成的生态系统服务价值损失量则是后者的 3.75 倍。

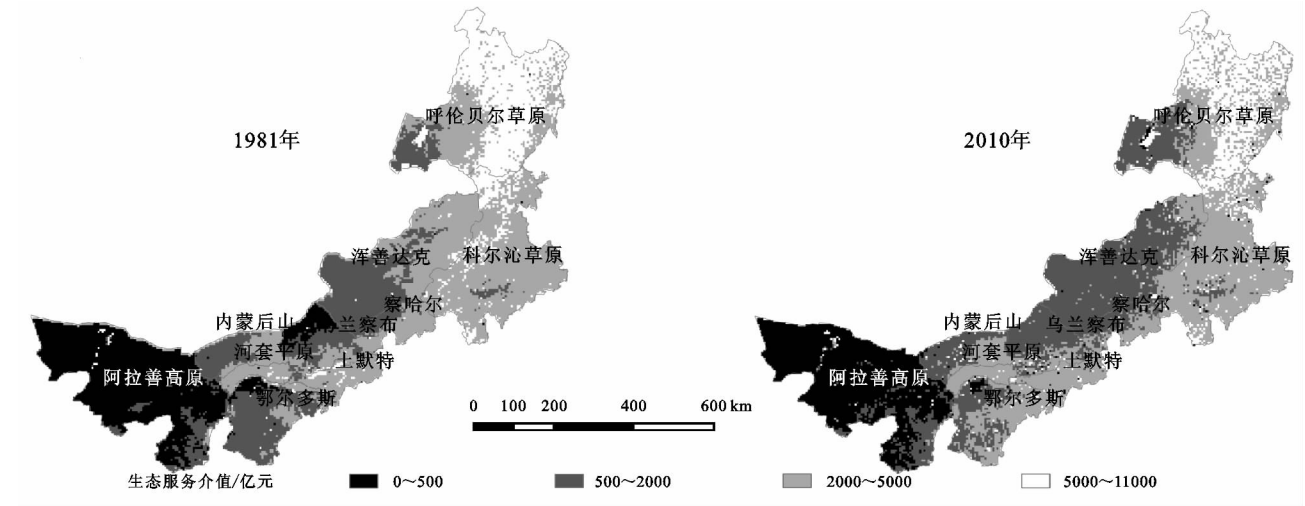


图 2 1981—2010 年内蒙古自治区单位栅格生态系统服务价值空间分布

表 3 沙漠化逆转与发展对生态系统服务价值的影响

价值 变化类型	沙漠化等级 间逆转	沙漠化逆转为非沙漠化				沙漠化等级 间发展	非沙漠化发展为沙漠化			
		林地	草地	农田	水域		林地	草地	农田	水域
轻度沙漠化	—	22.01	17.18	0.53	8.26	—63.18	—56.72	—44.03	—0.61	—2.76
中度沙漠化	17.78	15.08	66.17	3.59	29.10	—30.02	—9.43	—212.40	—4.73	—3.88
重度沙漠化	41.70	8.18	21.32	5.14	7.99	—5.25	0.00	—15.34	—0.47	—3.63
极重度沙漠化	18.23	1.06	1.17	0.38	3.04	—3.23	—3.17	—3.82	0.00	—3.04
原生沙漠	22.76	11.37	0.64	0.00	1.57	—	—1.08	—1.28	—0.22	—14.93

2.2.3 不同沙区沙漠化演变对区域生态系统服务价值的影响 沙漠化演变对内蒙古地区生态系统服务价值的影响具有显著的空间异质性。历经 30 a 变化,乌兰察布、河套平原、鄂尔多斯等地生态系统服务价值呈上升趋势,沙漠化演变表现为对其的促进作用,也即沙漠化土地生态系统服务价值增加导致区域生态系统服务价值的增加;呼伦贝尔、浑善达克、察哈尔、科尔沁等生态系统服务价值呈下降趋势,沙漠化演变亦表现为对其的促进作用;而土默特、内蒙后山、阿拉善地区沙漠化演变对生态系统服务价值变化则具有反向影响。

为定量分析生态系统服务价值对沙漠化演变的敏感度,本文引入敏感度系数,结果表明:各沙区生态系统服务价值对沙漠化演变均具有一定的敏感性,但敏感强度存在巨大差异。科尔沁、河套平原的生态系统服务价值对沙漠化演变非常敏感,敏感度分别为 74.53,53.15。而呼伦贝尔、内蒙后山等无论表现为同向敏感或反向敏感,系数均在 0 附近徘徊,敏感度相对较小。

3 讨论

在气候变化和人类活动的共同作用下,过去 30 a 内蒙古沙漠化发生了显著的变化。“三北”防护林工程、京津风沙源治理、天保工程等工程措施的实施,导致植被的覆盖度提高,局部地区呈现出明显的沙漠化逆转态势<sup>[13]</sup>,为生态系统服务价值的增加提供了可能性。但同时,不合理的人类活动,如煤炭和油气资源钻采,铁路、公路、管线的铺设,虽促进了农牧区经济的发展,也使生态环境本就脆弱的资源富集区植被破坏,土地沙漠化问题更加突出<sup>[14]</sup>,造成生态系统服务价值损失。上述各种原因导致的沙漠化演变对生态系统服务价值的影响具有空间差异性,进一步通过生态系统服务价值对沙漠化的敏感程度计算,发现 30 a 来鄂尔多斯、阿拉善等沙区在沙漠化的影响下,生态系统服务价值增加,发展形势良好。而内蒙后山、科尔沁等生态系统服务价值减少,尤其是科尔沁敏感度指数高达 74.53,未来应作为防沙治沙重点控制区;对于呼伦贝尔等敏感度小的生态系统服务价值

减少区域,则需要投入更大的精力在保护和防止破坏上,通过水土治理、合理开采、提高人口素质、划定“生态红线”等手段,保证现有森林和草地面积不减少、质量不下降,从而保障区域生态环境安全。

表 4 生态系统服务价值对沙漠化演变的敏感度分析

沙区	生态系统服务 价值总变化量/ 亿元	沙漠化演变导致生态 系统服务价值变化 量/亿元	敏感度系数
呼伦贝尔	-393.81	-103.89	8.91 E-8
浑善达克	-181.89	-172.11	2.38
察哈尔	-22.56	-20.79	4.21
科尔沁	-173.46	-417.72	74.53
乌兰察布	17.7	24.99	4.52
土默特	-15.56	10.03	-9.83
河套平原	0.72	2.84	53.15
内蒙后山	1.98	-0.45	-0.57
鄂尔多斯	121.8	120.24	1.36
阿拉善	-1.3	6.01	-6.12

基于时间序列的各等级沙漠生态系统服务价值变化及动态趋势的评价研究将沙漠化演变带来的影响货币化,本文按照等间距原则细分轻度、中度、重度、极重度以及原生沙漠 5 个沙漠化等级,其中所划分的轻度、中度沙漠化地区也即具有一定程度沙漠化趋势的草地,因此与其他研究成果比较<sup>[10,15]</sup>,可能会出现沙漠化地区面积、生态系统服务价值均偏高,草地面积、生态系统服务价值偏低现象。但这一设定可以更为客观地分析不同的沙漠化演变过程对区域生态系统服务价值的影响。下一步,将进一步结合气候与人类活动数据,定量分析原因与机制。

4 结 论

(1) 1981—2010 年,内蒙古各区沙漠化变动明显。逆转面积 17.09 万 km<sup>2</sup>,主要发生于西南部的鄂尔多斯、阿拉善等沙区;发展面积 20.43 万 km<sup>2</sup>,集中在浑善达克等中北部沙区。沙漠化发展与逆转具有显著空间异质性的同时,在类型上大致以相邻沙漠化等级之间变化为主。

(2) 30 a 来,内蒙古自治区生态系统服务价值下降 671.57 亿元。由东向西大致呈阶梯状分布。相较于 1981 年,浑善达克东北部、呼伦贝尔中部价值减少,鄂尔多斯东部价值增加。

(3) 土地沙漠化演变对内蒙古生态系统服务价值产生明显的影响,二者具有中度线性相关关系。沙漠化演变使生态系统服务价值减少 158.9 亿元,占价值损失总量的 23.7%。

(4) 沙漠化演变对生态系统服务价值影响具有空

间异质性。对乌兰察布、呼伦贝尔等沙区价值变化具有促进作用,而对于对土默特等地的价值变化则起反向作用。生态系统服务价值对沙漠化的敏感性差异显著。科尔沁、河套平原等地表现为非常敏感,敏感度均高于 50。呼伦贝尔、内蒙后山等的敏感性较小。

参考文献:

[1] Ning J, Liu J, Zhao G. Spatio-temporal characteristics of disturbance of land use change on major ecosystem function zones in China[J]. Chinese Geographical Science, 2015,25 (5):523-536.

[2] 周立华,朱艳玲,黄玉邦.禁牧政策对北方农牧交错区草地沙漠化逆转过程影响的定量评价[J].中国沙漠,2012,32(2):308-313.

[3] 国家林业局.第五次全国沙漠化和沙化土地监测情况[N].中国林业网,2011-12-29.

[4] 覃云斌,信忠保,易扬,等.京津风沙源治理工程区沙尘暴时空变化及其与植被恢复关系[J].农业工程学报,2013,28(24):196-204.

[5] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等.一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J].自然资源学报,2008,23(5):911-919.

[6] 张靖,同丽嘎,李政海,等.内蒙古乌审旗有机碳库变化及其增汇调控途径[J].生态学报,2016,36(9):2552-2559.

[7] 马全林,张德魁,刘有军,等.石羊河中游沙漠化逆转过程土壤种子库的动态变化[J].生态学报,2011,31(4):989-997.

[8] Liu S, Gong P. Change of surface cover greenness in China between 2000 and 2010[J]. Chinese Science Bulletin, 2012, 57(22): 2835-2845.

[9] 岳耀杰,闫维娜,王秀红,等.区域生态退耕对生态系统服务价值的影响[J].干旱区资源与环境,2014,28(2):60-67.

[10] 王树力,杨广巍,周延阳.土地荒漠化对生态系统服务价值的影响[J].中国水土保持科学,2008,6(5):50-56.

[11] Wu G, Xiong K, Li C, et al. Assessment of service value of ecosystem in karst ecological control areas[J]. Asian Agricultural Research, 2012,4(5):26-31.

[12] Zhao X Y, Wang S K, Luo Y Y, et al. Toward sustainable desertification reversion: A case study in Horqin Sandy Land of northern China[J]. Sciences in Cold and Arid Regions, 2015(1):23-28.

[13] 张良侠,樊江文,张文彦,等.京津风沙源治理工程对草地土壤有机碳库的影响:以内蒙古锡林郭勒盟为例[J].应用生态学报,2014,25(2):374-380.

[14] 雷少刚,卞正富.西部干旱区煤炭开采环境影响研究[J].生态学报,2014,34(11):2837-2843.

[15] 王爱玲,朱文泉,李京,等.内蒙古生态系统服务价值遥感测量[J].地理科学,2007,27(3):325-330.