呼伦贝尔沙地 2000—2020 年土地利用变化及生态服务价值

张天琪[1], 杨 光[1], 刘 峰[1], 穆其尔[1], 涛 力[2], 马 勇[2]

(1.内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2.鄂尔多斯市造林总场, 内蒙古 鄂尔多斯市 017000)

摘 要: [目的] 研究呼伦贝尔沙地土地利用动态以及生态系统服务功能演变情况,为该区优化土地利用结构以及改善生态服务功能提供理论支撑。[方法] 以呼伦贝尔沙地 2000,2005,2010,2015 和 2020 年 5 期遥感影像为数据源,在 ENVI 5.3 和 ArcGIS 10.2 的支持下,运用土地动态度空间分析模型、变化强度分析土地利用变化特征,采用中国沙地生态服务价值表的计算方法对呼伦贝尔沙地土地利用数据进行分析,计算呼伦贝尔沙地的生态服务价值以及敏感性指数。[结果] ①研究区沙漠化呈逆转趋势,各沙漠化土地面积均减少,极重度沙漠化土地面积共减少 627.3 km^2,林草地面积不断增加,生态环境得到了有效的改善;从土地利用类型变化来看,主要以沙漠化逐级转移为主,其他转换类型的转化比重相对较小; ②从变化速率来看,林草地的变化幅度最大,以年变化率 9.3%的速度增加;从变化强度的绝对值来看,轻度沙漠化的变化强度最大,20 a 间面积减少 70%; ③呼伦贝尔沙地的生态服务价值总体呈现增长趋势,其中林草地生态服务价值最高,极重度沙漠化的生态服务价值最低;生态服务价值的敏感性指数均<1,说明沙地的生态服务价值相对较稳定。[结论] 研究区应扩大林草地面积,合理治理沙漠区域,提升区域生态系统服务价值。

关键词: 呼伦贝尔沙地; 土地利用; 转移矩阵; 生态服务价值

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2021)04-0331-08 **中图分类号**: F301.24

文献参数: 张天琪, 杨光, 刘峰, 等.呼伦贝尔沙地 2000—2020 年土地利用变化及生态服务价值[J].水土保持通报,2021,41(4):331-338.DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2021.04.043; Zhang Tianqi, Yang Guang, Liu Feng, et al. Land use change and ecological service value of Hulun Buir sandy land from 2000 to 2020 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021,41(4):331-338.

Land Use Change and Ecological Service Value of Hulun Buir Sandy Land from 2000 to 2020

Zhang Tianqi[1], Yang Guang[1], Liu Feng[1], Mu Qier[1], Tao Li[2], Ma Yong[2]

(1.*College of Desert Control Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia* 010018, *China*; 2.*Forest General Site of Ordos City, Ordos, Inner Mongolia* 017000, *China*)

Abstract: [Objective] The land use dynamics and the evolution of ecosystem service functions in Hulun Buir sandy land were studied to provide support for optimizing the land use structure and improving the ecological service function in this area. [Methods] Based on the remote sensing images of Hulun Buir sandy land in 2000, 2005, 2010, 2015 and 2020, and the supported by ENVI 5.3 and ArcGIS 10.2, the characteristics of land use change were analyzed by using the spatial analysis model of land dynamic attitude and the change intensity. The land use data of Hulun Buir sandy land were analyzed by using the calculation method of China's sand ecological service value table and the ecological service value and sensitivity index of Hulunbuir sandy land were calculated. [Results] ① Desertification showed a reversal trend, the area of each desertified land decreased, the area of forest and grassland increased, the ecological environment of the area had been effectively improved. ② From the point of view of the rate of change, the change of forest and grassland was the largest, with the annual change rate of 9.3%. From the absolute value of change intensity, the change

收稿日期:2020-03-29 **修回日期**:2021-05-12

资助项目:内蒙古自治区科技重大专项课题"沙地生态系统近自然修复技术研究及产业化示范"(2019ZD003-2)

第一作者:张天琪(1998—),女(蒙古族),内蒙古自治区赤峰市人,硕士研究生,研究方向为荒漠化遥感监测。Email:1724519733@qq.com。

通信作者:杨光(1974—),男(汉族),内蒙古自治区鄂尔多斯市人,博士,副教授,主要从事荒漠化遥感监测方面的工作。Email:yg331@126.com。

intensity of mild desertification was the largest, and the area decreased by 70% in 20 years. ③ The overall ecological service value of Hulun Buir sandy land showed an increasing trend, among which the ecological service value of forest and grass land was the highest, and the ecological service value of extremely severe desertification was the lowest. The sensitivity index of ecological service value are all less than 1, indicating that the ecological service value of sand was relatively stable and the results were credible. [Conclusion] The region should expand the area of forest grassland, manage the desert area reasonably, and enhance the value of regional ecosystem services.

Keywords: Hulun Buir sandy land; land use; transition matrix; ecological service value

21 世纪以来,针对生态一体化保护与修复,就内蒙古地区,习近平总书记提出了“统筹推进山水林田湖草沙综合治理、系统治理、源头治理”[1],我国高度重视生态文明建设,提升生态系统质量和稳定性,维护生态平衡和生态服务功能。生态服务主要包括调节服务、供给服务、文化服务和支持服务 4 个方面[2-3],而陆地生态系统具有巨大经济效益,众多学者分别从森林[4-5]、草地[6-7]、农田[8]、湿地[9-10]对各个生态系统类型提供了经济价值,而沙漠及沙化土地作为陆地生态系统的重要组成部分,具有防风固沙、固氮释氧、土壤保持、水文调节、维持生物多样性、生态旅游等生态系统服务功能[11]。而从沙漠化土地变化角度探讨其对区域生态服务价值影响的研究较少,丁雪等[12]人基于 NDVI 等多源数据与 GIS、敏感性分析方法,分析了 30 a 间内蒙古地区沙漠化演变对区域生态服务价值的影响;宋洁等[13]人以“当量因子法”为基础,采用网络分析、权衡协同等方法研究了乌兰布和沙漠近 30 a 生态系统服务价值的时空动态特征;岳耀杰等[14-15]学者研究表明,当前学者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。因此,研究荒漠化地区土地利用变化及其对生态系统服务价值的影响,评估该地区沙漠化治理成效,对合理利用土地情况与经营区域生态系统具有重要意义。

呼伦贝尔沙地作为全国第 4 大沙地,位于东北森林草原向干旱草原的过渡带,绝大部分区域属于农牧交错带,同时也是我国重要的天然草原和畜牧基地。近年来,由于受到全球气候变化影响,呼伦贝尔草地出现不同程度的沙化,对畜牧业发展有一定的影响,进一步还会对松嫩平原以及大兴安岭森林的粮食和生态安全产生威胁,从而影响呼伦贝尔市经济可持续发展。目前,国内外学者主要利用 TM[16],MSS(ETM)[17],MODIS 等[18]作为数据源,结合面向对象分析方法[16]、RS 和 GIS 技术[17]、土壤植被指数、地表反照率、滑动标准差指数[19]、二分模型[16]、NDVI[18]以及数学模型等[12]对呼伦贝尔沙地成因[17]、植被覆盖度[16]、景观格局分析[17]、驱动力[18-19]、土地利用变化[20-21]及周边沙地立地类型划分[22]进行研究;根据丁雪等人[12]研究得出对于呼伦贝尔为典型敏感度低的地区,应进一步从小尺度上研究该地生态系统服务价值演变。因此,本文以呼伦贝尔沙地为研究区,通过 2000—2020 年呼伦贝尔沙地土地利用变化动态和土地利用类型转移矩阵,分析土地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 研究区概况

呼伦贝尔沙地[23]主要由海拉尔河流域、伊敏河流域、新巴尔虎左旗中部三条沙带和新巴尔虎右旗达赉湖沿岸等地零星分布的沙丘组成,分布面积广且过于零散[24],本文参考 2005 年中国科学院寒区旱区环境与工程研究所划分的呼伦贝尔沙地边界,在地理信息系统的支持下,通过图层的叠加、融合、提取、编辑等过程勾绘出呼伦贝尔沙地的范围作为本文的研究区。呼伦贝尔沙地位于内蒙古东北部呼伦贝尔高原,集中分布在 117°10′—121°12′E,47°20′—49°50′N,占地总面积 4.32×10^4 km^2。该地势由东向西逐渐降低,且南部高于北部,平均海拔 600～800 m[23],东西长 270 km,南北宽约 170 km。气候类型属半湿润、半干旱区,年降水量 280～400 mm,年蒸发量 1 400～1 900 mm,干燥度 1.2～1.5,相对温度 60%～70%,盛夏季节水分、热量充足,雨热同步、空气湿润,有利于农业生产,年大风日数 20～40 d,年平均风速 3～4 m/s。沙地境内的河流、湖泊、沼泽较多,水分条件优越,共有大小河流 3000 余条,主要河流有海拉尔河(即额尔古纳河上游段)及莫勒格河、伊敏河、克鲁伦河、辉河等[25],沙地土壤以风沙土为主[15],境内分布丰富多样的植物种类,主要植被有狗尾草(*Setaria viridis*)、差巴嘎蒿(*Artemisiahalodendron*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、虫实(*Corispermum hyssopifolium*)、贝加尔针茅(*Stipa baiclensis*)和羊草(*Aneurole-pidium chinensis*)等。

2　数据来源及信息提取

选取 2000,2005 和 2010 年 3 期 Lantsat 5TM 影像以及 2015 和 2020 年 2 期 Lantsat 8OLI 遥感影像为基础数据源,5 期数据均来源于地理空间数据云(http://glovis.usgs.gov/),影像获取时间均为呼伦贝尔沙地植被生长季(6—8 月),便于目视解译。在 ENVI 5.3 软件对基础影像进行预处理,分类体系参照中国土地资源分类系统[26],同时参照朱震达编制的沙丘类型划分标准和《全国荒漠化和沙化监测技术规定》[27]以及 2000 年的沙漠化土地监测指标和《国家重点基础研究发展规划》项目"中国北方沙漠化过程及其防治研究"所制定的"中国北方土地沙漠化遥感监测分类体系"[28];将植被特征作为土地荒漠化的关键指标,植被覆盖度超过 60%为轻度沙漠化,30%～59%为中度沙漠化,10%～29%为重度沙漠化,小于 10%为极重度沙漠化[27],结合野外调查,用最大似然法对 5 期影像进行监督分类,将研究区土地利用类型分为[29]极重度沙漠化、重度沙漠化、中度沙漠化、轻度沙漠化、轻度沙漠化、林草地、耕地、建设用地和水体等 8 类,得到分类精度均大于 80%,满足分类要求。

3　研究方法

3.1　土地利用变化研究

3.1.1　*土地动态度空间分析*　目前,传统的数量分析模型和动态度模型是测算土地利用动态变化的两种主要方法,传统的数量分析模型不能反应出土地利用动态变化的空间过程及相关属性,忽略空间区位的固定性与独特性,无法比较和测算区域土地利用变化的综合活跃程度[30],本研究采用土地利用动态变化空间分析模型[31],使空间精度和面积精度更加准确,并消除空间数据尺度效应。土地利用在时空上的动态演变过程可以通过土地动态度反应,不仅反应出其变化的剧烈程度,还可以描述土地利用变化速度,单一动态度绝对值越高,表明该土地利用类型转化活跃,数量多,反之稳定。计算公式为:

$$K=\frac{U_b-U_a}{U_a}\times\frac{1}{T}\times 100\% \tag{1}$$

式中:K 为研究时段内土地变化速率;T 为时间段;U_a,U_b分别为监测初期和监测结束某一种土地利用类型面积总和。

3.1.2　*土地变化强度*　空间动态度模型有效地刻画了土地利用类型的空间变化过程,由于各土地类型在转出的同时也有其他地类转入,不能很好地对研究区土地利用变化程度进行描述,缺乏各类型之间直观的对比。对此,构建土地空间变化率模型,可以反应某类土地空间变化规模对研究区的影响程度,快速识别土地利用类型变化的活跃程度,使不同土地利用类型变化速度具有可比性[32]。计算公式为:

$$I=\frac{U_a-U_b}{\mathrm{TUA}}\times\frac{1}{T}\times 100\% \tag{2}$$

式中:I 为土地变化强度;TUA 为研究单元土地总面积。

3.2　生态系统服务价值研究方法

本文参考谢高地[33]改进的中国生态系统服务价值当量的研究成果,引用轻度、中度、重度、极重度沙漠化 4 个生态系统单位面积服务价值因子对呼伦贝尔沙地生态系统服务价值进行测算[12]。结合上述分析,参照王树力等[15]人研究,按照公式(3)计算各地类的单位面积价值。据调查,呼伦贝尔沙地植被主要以典型草原植被为主,其生态服务价值与草地相近,为与上述土地利用类型分类保持一致,这里不单独计算林地生态系统服务价值,将林草地归为一起进行计算;而建筑用地未对生态系统服务价值提供意义,所以把建设用地的当量值作为 0;具体确定的单位面积生态服务价值因子详见表 1[12]。

$$V_{后ij}=V_{未ij}(1-R)+V_{荒j}R \tag{3}$$

式中:$V_{后\,ij}$为荒漠化后单位面积第 i 类生态系统的第 j 种生态服务功能价值(元/a);$V_{未\,ij}$为未荒漠化单位面积第 i 类生态系统的第 j 种生态服务功能价值(元/a);$V_{荒\,j}$为单位面积荒漠的第 j 种生态服务功能价值(元/a);R 为荒漠化对生态系统服务功能价值的影响系数,拟定为:$R_{轻度}=20\%$,$R_{中度}=40\%$,$R_{重度}=60\%$和 $R_{极重度}=80\%$。

$$\mathrm{ESV}=\sum(\mathrm{VC}\cdot A_i) \tag{4}$$

式中:ESV 为研究区生态系统服务总价值(万元);VC 为表 1 中不同生态系统服务价值基准单价(万元/km^2);A_i为研究区内土地利用/覆被类型的面积(km^2)。

表 1　单位面积生态服务价值　　万元/km^2

土地利用类型	极重度沙漠化	重度沙漠化	中度沙漠化	轻度沙漠化	林草地	耕地	水体
单位面积生态服务价值/万元	18.34	26.21	39.31	47.17	52.41	35.48	203.67

3.3 生态服务价值敏感性分析

为了充分反应生态系统服务价值对土地利用类型的生态价值系数的依赖程度[34]，引入生态系统价值敏感系数，指 ESV 因生态服务价值系数变动 1%引起的变化情况。如果 CS>1，表明该生态系统服务价值富有弹性，生态价值系数准确性较低；如果 CS<1，表明生态系统服务系统价值缺乏弹性，生态价值系数的准确性较高，估算的生态系统服务价值比较符合研究区实际情况，计算公式为：

$$CS=\frac{\frac{ESV_i-ESV_j}{ESV_j}}{(VC_i-VC_j)/VC_j} \quad (5)$$

式中：ESV_i 为初始的生态系统服务价值；ESV_j 为调整±50%后的生态服务价值；VC_i 为调整前的生态服务价值系数；VC_j 为调整±50%后的生态服务价值系数。

4 结果与分析

4.1 呼伦贝尔沙地土地利用变化的基本情况

由表 2 分析可得，2000—2020 年沙漠化面积减少了 11 855.86 km^2，平均 592.79 km^2/a 的沙漠化土地得到有效的治理。极重度沙漠化和中度沙漠化面积浮动较小，分别减少了 1.46%和 3.77%，重度沙漠化面积减少的幅度最大，减少了 14.87%，轻度面积处于波动状态，最终减少了 3 269.52 km^2；建筑用地、水体、耕地在近 20 a 变化幅度不大，林草地逐年出现递增趋势，为相应国家号召，呼伦贝尔市委、市政府编制出台了《呼伦贝尔沙区综合治理规划(2009—2013 年)》[35]，建立严格的检查验收制度，加强后期管护，积极开展防沙治沙宣传，使沙区植被长势明显好转，林草地面积共增长了 12 154.77 km^2，相较于 2000 年增长了 28.47%。整体来看，呼伦贝尔沙地实现了沙化面积缩减，沙化程度减轻，林草地面积增加，生态环境明显改善(见封 3 附图 5)。

表 2 呼伦贝尔沙地各类土地利用面积变化

土地利用类型	2000 年		2005 年		2010 年		2015 年		2020 年	
	面积/km^2	比例/%	面积/km^2	比例/%	面积/km^2	比例/%	面积/km^2	比例/%	面积/km^2	比例/%
极重度沙漠化	1 103.57	2.58	841.63	1.97	798.67	1.87	623.70	1.46	476.27	1.12
重度沙漠化	8 954.47	20.97	6 213.45	14.55	5 341.15	12.51	3 907.98	9.15	2 605.62	6.10
中度沙漠化	7 250.34	16.98	13 991.59	32.77	9 720.85	22.77	11 037.92	25.85	5 640.15	13.21
轻度沙漠化	16 743.12	39.22	10 315.91	24.16	14 201.66	33.26	10 807.77	25.31	13 473.60	31.56
林草地	6 532.83	15.30	8 187.95	19.18	10 333.44	24.20	14 235.72	33.34	18 687.60	43.77
建筑用地	523.96	1.23	366.10	0.86	393.33	0.92	426.87	1.00	650.78	1.52
水 体	393.61	0.92	335.19	0.79	251.00	0.59	273.21	0.64	279.86	0.66
耕 地	1 193.01	2.79	2 443.09	5.72	1 654.81	3.88	1 381.74	3.24	881.03	2.06

4.2 呼伦贝尔沙地土地利用转移矩阵分析

对近 20 a 呼伦贝尔沙地 5 期影像进行动态监测，基于 ENVI 通过转移矩阵得到呼伦贝尔沙地土地利用结构和类型间的转化数据，从整体上看，2000—2020 年呼伦贝尔沙地沙漠化过程总体上呈逆转趋势，但波动较为剧烈(表 3—6)。

由表 3—6 可以看出，2000—2005 年主要是沙化土地面积逐级转化活跃，其他土地利用类型转化幅度较小，除中度沙化土地面积增大，其他土地利用类型面积减少，说明沙漠化态势得到了一定的控制；2005—2010 年，轻度沙化土地和林草地面积呈明显增加，其余沙化土地面积均不断减少，耕地面积也不断减少，逐渐转向林草地(232.44 km^2)和轻度沙漠化(129.5 km^2)；极重度沙化土地仍然逆转为重度沙化(262.27 km^2)，转入最多的重度沙化(128.89 km^2)，极重度面积减少；重度沙化其中有 32.05%逆转为中度沙化土地，中度沙化土地主要转出为轻度(36.10%)和重度(13.3%)，林草地面积明显在增多，主要是轻度沙化土地面积(1 465.14 km^2)转入；2010—2015 年，轻度沙化土地面积呈减少趋势，林草地面积增长，其他土地利用类型变化幅度较小。不同程度沙漠化土地均呈逆转趋势；2015—2020 年沙漠化土地变化特征与前 3 个时间段变化特征基本一致，呈现出逐级转移，极重度、重度、中度沙化土地均减少，轻度沙化土地面积增加，69.19%由中度沙化转入；有 1 244.97 km^2中度沙化土地，4 515.12 km^2 轻度沙化土地和637.18 km^2耕地土地逆转为林草地，使林草地面积大幅度增加，耕地面积减少；由于近些年人口面积增加，建筑用地出现增长趋势，水域面积变化幅度不大。2015—2020 年林草地转入面积大于转出面积，且重度和中度转出面积均大于转入面积，土地沙化程度出现逆转现象。

表 3　呼伦贝尔沙地 2000－2005 年土地利用类型面积转移矩阵

土地利用类型		2000 年							
		极重度沙漠化	重度沙漠化	中度沙漠化	轻度沙漠化	林草地	建筑用地	水 域	耕 地
2005 年	极重度沙漠化	495.64	254.82	46.45	19.62	16.64	0.54	0.64	7.28
	重度沙漠化	260.81	4 956.70	680.37	162.44	25.78	1.59	4.52	121.24
	中度沙漠化	131.61	2 347.53	6 038.94	4 988.36	414.05	13.04	28.40	29.66
	轻度沙漠化	156.29	904.42	321.30	7 781.26	915.08	40.99	3.92	192.65
	林草地	39.88	252.68	132.12	3 044.71	4 419.46	33.33	100.93	164.84
	建筑用地	11.29	35.29	0.89	21.28	33.68	247.19	1.36	15.12
	水 体	2.57	22.94	7.73	30.04	13.54	1.09	253.78	3.50
	耕 地	5.48	180.09	22.54	695.41	694.60	186.19	0.06	658.72

表 4　呼伦贝尔沙地 2005－2010 年土地利用类型面积转移矩阵

土地利用类型		2005 年							
		极重度沙漠化	重度沙漠化	中度沙漠化	轻度沙漠化	林草地	建筑用地	水 域	耕 地
2010 年	极重度沙漠化	493.37	128.89	91.99	46.63	30.74	1.34	0.88	4.83
	重度沙漠化	262.27	3 065.49	1 861.07	107.01	29.24	10.06	0.68	5.33
	中度沙漠化	76.21	1 991.25	6 709.33	680.94	155.50	15.46	0.28	91.88
	轻度沙漠化	4.70	563.22	5 051.56	6 564.51	1 465.14	17.30	3.15	532.08
	林草地	2.14	401.88	140.32	2 758.17	6 225.40	20.49	85.50	699.54
	建筑用地	0.48	5.11	17.40	27.34	36.72	207.91	10.44	87.93
	水 体	0.29	0.82	0.86	1.80	12.77	0.80	232.55	1.11
	耕 地	2.17	56.79	119.07	129.50	232.44	92.74	1.71	1 020.39

表 5　呼伦贝尔沙地 2010－2015 年土地利用类型面积转移矩阵

土地利用类型		2010 年							
		极重度沙漠化	重度沙漠化	中度沙漠化	轻度沙漠化	林草地	建筑用地	水 域	耕 地
2015 年	极重度沙漠化	298.57	259.62	39.83	20.58	1.13	0.26	0.07	3.64
	重度沙漠化	435.55	2 511.61	719.11	205.70	2.92	0.70	0.06	32.33
	中度沙漠化	54.64	2 380.95	6 611.96	1 839.45	109.26	26.74	4.40	10.52
	轻度沙漠化	2.79	172.11	1 190.36	7 591.44	1 412.11	25.66	6.12	407.18
	林草地	1.19	11.20	1 079.67	4 284.54	8 324.14	122.81	71.85	340.32
	建筑用地	2.90	3.38	67.34	106.28	60.10	153.49	2.91	30.47
	水 体	0.40	0.33	0.05	5.85	97.11	14.81	152.93	1.73
	耕 地	2.63	1.95	12.53	147.86	326.63	48.86	12.66	828.62

表 6　呼伦贝尔沙地 2015－2020 年土地利用类型面积转移矩阵

土地利用类型		2015 年							
		极重度沙漠化	重度沙漠化	中度沙漠化	轻度沙漠化	林草地	建筑用地	水 域	耕 地
2020 年	极重度沙漠化	360.20	87.28	14.58	12.29	0.06	0.08	0.04	1.74
	重度沙漠化	117.16	2 154.03	136.76	178.70	1.16	8.73	0.02	9.06
	中度沙漠化	88.51	724.29	3 904.07	812.62	56.85	34.43	0.05	19.33
	轻度沙漠化	47.78	403.18	5 693.68	5 245.14	1 802.69	38.06	1.57	241.50
	林草地	8.86	392.39	1 244.97	4 515.12	11 769.87	119.17	0.04	637.18
	建筑用地	0.02	127.03	38.48	28.71	200.83	213.72	0.82	41.17
	水 体	0.07	0.60	2.36	0.75	5.71	0.07	270.00	0.30
	耕 地	1.10	19.18	3.02	14.44	398.55	12.61	0.67	431.46

4.3 土地利用变化程度分析

根据公式(1)—(2)计算各土地利用动态度和变化强度(表 7)。呼伦贝尔沙地土地利用动态度变化差异明显。2000—2020 年极重度沙漠化、中度沙漠化、轻度沙漠化、水体、耕地的动态度减少,而重度沙漠化、林草地、建设用地的动态度增加。其中,林草地动态度增加最快,而极重度沙漠化动态度减少最快。主要由于该地区通过工程治理、休牧禁牧、生态移民实现沙地的全面保护和治理,建立比较完备的沙地生态体系,治理沙害,使沙化土地得到明显好转,在大力实施退耕还林还草政策,使得林草地不断增加,沙地面积呈不断减少趋势。各个土地利用类型在 2000—2020 年各年份动态度变化趋势不尽相同,在 2000—2005 年,耕地的变化幅度最大,以年变化率 20.96% 增长,主要是由轻度沙漠化面积转入引起的,后来呈现先减少又增加的稳定趋势,保护基本农田政策对控制耕地面积起到了主导性作用;林草地动态度呈逐渐稳定增加的趋势,主要由于该地区在 2002 年为有效遏制呼伦贝尔沙地的沙化趋势,决定实施一项长达 18 a 的"沙地治理樟子松行动"生态建设工程的成果。沙漠化土地呈不断减少的趋势,2015—2020 年中度沙漠化以 9.24% 速率减少,说明沙地逐级转化明显,沙地总体面积减少,治理具有一定的成效;建设用地的动态度呈先减少后增加的波动趋势,说明建设用地的发展受社会经济发展水平的制约;水域的动态度呈先减少后增加最终趋于平稳的减幅趋势,近年来的天气异常干旱导致水资源的减少。2000—2020 年,林草地变化强度呈高速扩展型(变化强度>0),变化强度明显增加由 0.78% 上升到 2.09%;极重度与重度沙漠化的变化强度绝对值都减少,分别从 0.12%,1.28% 减少到 0.07%,0.61%,变化相对平稳,因为其为负值,所以在此期间重度沙漠化和极重度沙漠化均低速衰退型;从 2000—2005 年变化强度的绝对值来看,对比各阶段土地利用类型变化相对强烈,中度沙漠化变化强度最大(3.16%),其次是轻度沙漠化 3.01%,重度沙漠化、林草地和耕地变化强度相对活跃,分别为1.28%,0.78%,0.59%;极重度沙漠化变化强度较小,为 0.12%;建筑用地和水体变化强度相对稳定。

4.4 生态系统服务价值

根据公式(3)计算,得出呼伦贝尔沙地各地类 2000,2005,2010,2015 和 2020 年的生态系统服务价值,从图 1 可知,土地沙漠化逆转导致的生态系统服务价值增加量共计 21.03 亿元,占 2020 年价值总量的 10.49%。在沙化土地转移方面,原有的沙漠化土地有 4.27×10^4 km^2 发生逐级逆转,造成生态系统服务价值损失 39.55 亿元,其中以轻度、重度沙漠化逆转的影响最为明显,二者共导致生态系统服务价值损失占 81%。沙漠化土地逆转为非沙漠化造成生态系统服务价值增加,仅逆转为林草地就使生态系统服务价值增加了 63.7 亿元,林草地呈逐年增长趋势,2020 年较 2000 年增加了 63.7 亿元,其增加的原因是轻度、中度沙漠化逆转为林草地;水体和耕地在 20 a 间呈下降趋势,分别下降 2.02,1.1 亿元。

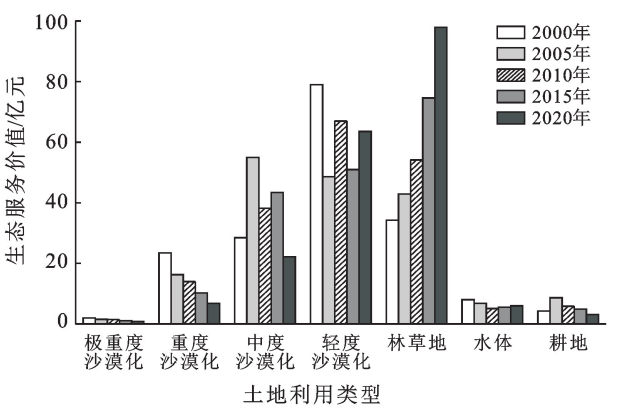


图 1 呼伦贝尔沙地 2000—2020 年各地类生态系统服务价值

表 7 呼伦贝尔沙地土地利用动态度/强度指数

土地利用类型	2000—2005 年			2005—2010 年			2010—2015 年			2015—2020 年		
	变化面积	变化速率/%	变化强度/%	变化面积	变化速率/%	变化强度/%	变化面积	变化速率/%	变化强度/%	变化面积	变化速率/%	变化强度/%
极重度沙漠化	−261.94	−4.75	−0.12	−42.96	−1.02	−0.02	−174.97	−4.38	−0.08	−147.43	−4.73	−0.07
重度沙漠化	−2 741.02	−6.12	−1.28	−872.3	−2.81	−0.41	−1 433.17	−5.37	−0.67	−1 302.36	−6.67	−0.61
中度沙漠化	6 741.25	18.6	3.16	−4 270.74	−6.10	−2.00	1 317.07	2.71	0.62	−5 097.77	−9.24	−2.39
轻度沙漠化	−6 247.21	−7.68	−3.01	3 885.75	7.53	1.82	−3 393.89	−4.78	−1.59	2 665.83	4.93	1.25
林草地	1 655.12	5.07	0.78	2 145.49	5.24	1.01	3 902.28	7.55	1.83	4 451.88	6.25	2.09
建筑用地	−157.86	−6.03	−0.07	27.23	1.49	0.01	33.54	1.71	0.02	223.91	10.49	0.10
水 体	−58.42	−2.97	−0.027	−84.19	−5.02	−0.04	22.21	1.77	0.01	6.65	0.49	0.003
耕 地	1 250.08	20.96	0.59	−788.28	−6.45	−0.37	−273.07	−3.30	−0.13	−500.71	−7.25	−0.23

4.5　生态服务价值敏感性分析

将研究区各土地类型的生态价值系数上下调整 50%,得出 2000—2020 年呼伦贝尔沙地生态系统服务价值的敏感性系数(表 8)。在不同时期下,研究区所有土地利用类型敏感性指数(CS)均<1,且接近于 0;不同年份间差异较小,由高到低依次为林草地、耕地、水体、和沙漠化土地。在 2000—2010 年水体敏感性指数呈增长趋势,林草地和耕地指数呈减少趋势,表明在这期间水域对呼伦贝尔沙地的生态系统服务价值的变化影响较大。沙漠化土地的敏感性指数很小,位于 0.002～0.07,表明沙漠化土地对呼伦贝尔沙地生态系统服务总价值的变化影响甚微。耕地和林草地敏感性指数在 2010—2020 年呈增长趋势,对呼伦贝尔沙地生态系统价值影响较大。林草地的敏感指数(0.31～0.52)明显大于其他地类,对生态系统服务价值的贡献率最大,当林草地生态系数价值系数增加 1%时,生态系统服务价值增加 0.31%～0.52%。综上所述,研究区生态系统服务价值对所采用的生态服务价值系数缺乏弹性,所估算的生态系统服务价值是可信的,所采用的生态服务价值系数适合当地情况。

表 8　2000－2020 年呼伦贝尔沙地生态服务价值敏感性指数

年份	极重度沙漠化	重度沙漠化	中度沙漠化	轻度沙漠化	林草地	水 体	耕 地
2000	0.002	0.004	0.005	0.020	0.390	0.040	0.340
2005	0.004	0.005	0.002	0.005	0.350	0.050	0.210
2010	0.002	0.008	0.040	0.070	0.310	0.070	0.190
2015	0.003	0.006	0.003	0.006	0.450	0.130	0.270
2020	0.003	0.004	0.009	0.005	0.520	0.140	0.360

5　讨论与结论

5.1　讨 论

本文基于土地利用动态变化,对呼伦贝尔沙地生态服务价值进行研究,选取土地资源数量变化模型和土地空间变化模型进行计算,得到呼伦贝尔沙地 2000—2020 年土地利用动态度和土地利用面积转移矩阵,呼伦贝尔沙地近 20 a 来土地利用发生明显变化,沙化土地是呼伦贝尔沙地最主要的土地利用类型,所占比例达 75%以上,其中,中度沙漠化快速增长,但是在 2010 年以后,沙化土地面积都呈减少趋势,此外,林草地面积增加明显,与研究初期相比增长率达到了 186.06%,土地利用动态度趋势与朱晓昱等[36]对呼伦贝尔草原土地利用变化研究结果相似,林草地面积增加,未利用土地沙化土地面积减少,并且沙化土地转化主要以逐级转化为主,跨级转化面积较小,沙化土地总体呈逆转趋势,沙化程度减弱。可见呼伦贝尔沙地生态修复过程有一定的成效,改善了沙地的生态环境,这与呼伦贝尔地区构筑政府落实草原监督管理的制度体系息息相关,就呼伦贝尔沙地土地利用现状的情况下,今后要通过水土治理、划定“生态红线”、合理控制沙地面积不扩张、保证现有林草地面积不减少、植树造林,从而保障区域生态环境安全。

2000 年以来,对于生态系统服务价值研究一直是研究热点,但大都基于城市化、小流域等研究,鲜有对沙地的角度研究生态服务价值,本文参照谢高地等人的单位面积价值当量因子以及结合丁雪等人[12]对内蒙古荒漠化定义单位面积生态服务价值系数为研究方法对呼伦贝尔沙地进行生态服务价值研究,2000—2020 年呼伦贝尔沙地生态服务价值量总体呈增长趋势,这与孙兴辉[37]研究相似,该地区林草地资源丰富并且在研究区生态服务总价值中占据突出地位,因此,今后应该注重响应当地政府大力号召防沙治沙政策,实施“退耕还林、还草、植树造林”等生态建设工程。但本文的研究仍有不足,在单位面积生态服务价值因子计算方面,不同的参数和方法都会使评估结果存在较大差异,因此,在未来研究中可重点关注:①沙地环境条件不同,系数就会产生一定的差异,针对荒漠小尺度生态系统,亟需建立一套包括水平衡调节、防风固沙等主导沙地生态系统在内的生态服务价值单价,并依照不同实际情况对生态系统服务价值单价进行相应的修改,更能准确体现沙化土地的生态服务价值的变化;②可以基于地理探测器方法下研究区域生态服务价值空间分布及预测模拟研究,更能准确地体现出沙区的生态服务价值变化。

5.2　结 论

(1) 2000—2020 年,呼伦贝尔沙地土地类型面积均发生不同程度的变化,各沙漠化均呈减少趋势,其中重度沙漠化减幅最大,减少了 14.87%,林草地面积扩张显著,增加了 12 154 km^2,建筑用地呈微增加趋势,增加了 126.82 km^2,水体和耕地呈减少趋势,分别减少了 113.75 和 311.98 km^2。

(2) 2000—2020 年 4 个时间段林草地、耕地与同期其他土地利用类型相比转化幅度大,土地利用动态

度呈先减少后增加的 V 字型规律，最大值出现在 2000—2005 年，最小值出现在 2010—2015 年；就变化速率来看，各土地利用类型变化速率绝对值下降，土地利用趋于平稳。虽然沙地面积减少，但应该把防沙治沙作为一项长期性的工作，提高沙地治理工程质量，做好沙地管护，着重治理沙化趋势明显的土地。

(3) 2000—2020 年研究区各地类生态服务功能价值的敏感性指数变动不大，且均小于 1，说明研究区生态系统服务价值对于生态价值系数是缺乏弹性，结果可信；土地利用生态价值总体上呈现增加趋势，总价值从 2000 年 179.46 亿元增长至 2020 年 200.49 亿元，增长了 21.03 亿元，其中林草地是呼伦贝尔沙地生态服务价值构成的主体。

[参 考 文 献]

[1] 王波.生态环境部环境规划院.以系统观念谋划山水林田湖草沙治理工程[N].中国环境报，2021-03-11(3).

[2] Robert Costanza, Ralph d'Arge, Rudolf de Groot, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature: International Weekly Journal of Science, 1997,387:253-260.

[3] Loomes R , O'Neill K . Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems [J]. Pacific Conservation Biology, 1997,6(2):220-221.

[4] 薛达元，包浩生，李文华.长白山自然保护区森林生态系统间接经济价值评估[J].中国环境科学，1999，19(3)：247-252.

[5] 赵正，韩锋，侯一蕾.基于 Meta 回归方法的中国城市森林生态系统服务功能价值再评估[J].长江流域资源与环境，2021，30(1)：64-75.

[6] 赵同谦，欧阳志云，贾良清，等.中国草地生态系统服务功能间接价值评价[J].生态学报，2004，24(6)：1101-1110.

[7] 赵苗苗，赵海凤，李仁强，等.青海省 1998—2012 年草地生态系统服务功能价值评估[J].自然资源学报，2017，32(3)：418-433.

[8] 孙新章，周海林，谢高地.中国农田生态系统的服务功能及其经济价值[J].中国人口·资源与环境，2007，17(4)：55-60.

[9] 陈炜，张雨珂，炊雯，等.黄土高原湿地生态系统服务功能价值评估：以陕西省千湖国家湿地公园为例[J].水土保持通报，2019，39(4)：270-274，280.

[10] 吴玲玲，陆健健，童春富，等.长江口湿地生态系统服务功能价值的评估[J].长江流域资源与环境，2003，12(5)：411-416.

[11] 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.

[12] 丁雪，雷国平，许端阳，等.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[J].水土保持研究，2018，25(1)：298-303.

[13] 宋洁，温璐，王凤歌，等.乌兰布和沙漠生态系统服务价值时空动态研究[J].生态学报，2021，41(6)：2201-2211.

[14] 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：以宁夏盐池为例[J].干旱区资源与环境，2014，28(2)：60-67.

[15] 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)：50-56，70.

[16] 白彦.呼伦贝尔沙地植被覆盖度变化遥感监测研究[D].内蒙古 呼和浩特：内蒙古农业大学，2013.

[17] 徐驰.呼伦贝尔盟土地荒漠化动态变化研究[D].吉林长春：吉林大学，2010.

[18] 李姣，张春来，李庆，等.近 15 年来呼伦贝尔沙地土地沙漠化发展及其驱动力[J].北京师范大学学报(自然科学版)，2017，53(3)：323-328.

[19] 那日苏.呼伦贝尔沙地土地沙漠化时空变化特征分析[D].内蒙古 呼和浩特：内蒙古师范大学，2017.

[20] 李艳红，朱宾宾，李艳凤，等.海拉尔河沙带 1995—2015 年动态变化及驱动力分析[J].中国水土保持，2020(2)：52-56.

[21] 董建林，雅洁.呼伦贝尔沙地近十年来土地沙漠化变化分析[J].林业资源管理，2002(4)：39-43.

[22] 苏敏.呼伦贝尔沙区土地沙化防治立地类型划分及对位防治措施研究[D].北京：北京林业大学，2019.

[23] 金维林，张宝珠，尤木金，等.呼伦贝尔沙地沙化原因分析[J].内蒙古林业科技，2004(3)：35-37.

[24] 罗刚.呼伦贝尔沙地区域分布现状研究[J].内蒙古林业调查设计，2016，39(5)：1-3.

[25] 张海芳.呼伦贝尔沙地不同植被恢复模式土壤微生物多样性[D].天津：天津师范大学，2012.

[26] 刘纪远.国家资源环境遥感宏观调查与动态监测研究[J].遥感学报，1997，1(3)：225-230.

[27] 朱震达.关于沙漠化地图编制的原则与方法[J].中国沙漠，1984，4(1)：7-19.

[28] 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.

[29] 刘峰，杨光，韩雪莹，等.科尔沁沙地土地利用时空演变及空间自相关分析：以奈曼旗为例[J].西北林学院学报，2020，35(4)：148-157.

[30] 刘盛和，何书金.土地利用动态变化的空间分析测算模型[J].自然资源学报，2002，17(5)：533-540.

[31] 刘纪远，张增祥，庄大方，等.20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J].地理研究，2003，22(1)：1-12.

[32] 渠爱雪，卞正富，朱传耿，等.徐州城区土地利用变化过程与格局[J].地理研究，2009，28(1)：97-108，276.

(下转第 349 页)

2020,40(20):15-24.
[10] 刘永强,廖柳文,龙花楼,等.土地利用转型的生态系统服务价值效应分析:以湖南省为例[J].地理研究,2015,34(4):691-700.
[11] 龙花楼.论土地利用转型与乡村转型发展[J].地理科学进展,2012,31(2):193-200.
[12] 张丽,杨国范,刘吉平.1986—2012 年抚顺市土地利用动态变化及热点分析[J].地理科学,2014,34(2):185-191.
[13] 马礼,苏海霞.河北沽源县土地利用动态变化研究[J].干旱区资源与环境,2010,24(1):131-136.
[14] 祁元,王一谋,冯毓荪,等.基于 RS, GIS 的宁夏土地利用动态变化分析[J].干旱区地理,2002,25(3):245-250.
[15] 王治良,路春燕.呼伦贝尔草原区土地利用及景观格局变化特征分析[J].干旱区资源与环境,2015,29(12):91-97.
[16] 程建,程久苗.中国省际土地利用隐性形态时空格局、驱动力与转型模式[J].中国土地科学,2017,31(12):60-68,97.
[17] 李晨曦,吴克宁,查理思.京津冀地区土地利用变化特征及其驱动力分析[J].中国人口·资源与环境,2016,26(S1):252-255.
[18] 韩会然,杨成凤,宋金平.北京市土地利用变化特征及驱动机制[J].经济地理,2015,35(5):148-154,197.
[19] 刘志佳,黄河清.珠三角地区建设用地扩张与经济、人口变化之间相互作用的时空演变特征分析[J].资源科学,2015,37(7):1394-1402.
[20] 李宏伟,吕军,卜坤,等.1976—2015 年辽河口土地利用格局变化及驱动机制研究[J].中国水土保持,2019(12):88-92.
[21] 张佰发,苗长虹.黄河流域土地利用时空格局演变及驱动力[J].资源科学,2020,42(3):460-473.
[22] 张浚茂,臧传富.东南诸河流域 1990—2015 年土地利用时空变化特征及驱动机制[J].生态学报,2019,39(24):9339-9350.
[23] 付建新,曹广超,郭文炯.1980—2018 年祁连山南坡土地利用变化及其驱动力[J].应用生态学报,2020,31(8):2699-2709.
[24] 耿甜伟,陈海,张行,等.基于 GWR 的陕西省生态系统服务价值时空演变特征及影响因素分析[J].自然资源学报,2020,35(7):1714-1727.
[25] 岳杙筱,薛亮.陕西省土地利用与生态系统服务价值动态研究[J].中国农业大学学报,2020,25(10):20-30.
[26] 卓静,朱延年,何慧娟,等.生态恢复工程对陕北地区生态系统格局的影响[J].生态学报,2020,40(23):8627-8637.
[27] 马新萍,韩申山,王磊,等.大西安地区土地利用类型时空演变分析[J].干旱区地理,2020,43(2):499-507.
[28] 中国科学院地理科学与资源研究所.资源环境数据云平台[EB/OL]. https://www.resdc.cn/.
[29] 裴杰,王力,柴子为,等.基于 RS 和 GIS 的深圳市土地利用/覆被变化及碳效应分析[J].水土保持研究,2017,24(3):227-233.
[30] 杨晴青,刘倩,尹莎,等.秦巴山区乡村交通环境脆弱性及影响因素:以陕西省洛南县为例[J].地理学报,2019,74(6):1236-1251.
[31] 朱会义,李秀彬.关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J].地理学报,2003,58(5):643-650.

(上接第 338 页)

[33] 谢高地,张彩霞,张雷明,等.基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J].自然资源学报,2015,30(8):1243-1254.
[34] 肖红克,李洪忠,王莉,等.粤港澳大湾区土地利用及生态系统服务价值的变化:以广佛肇为例[J].水土保持研究,2020,27(1):290-297.
[35] 内蒙古呼伦贝尔市林业局.呼伦贝尔市:为筑牢祖国北疆生态屏障作出突出贡献[J].内蒙古林业,2018(12):23-24.
[36] 朱晓昱.呼伦贝尔草原区土地利用时空变化及驱动力研究[D].北京:中国农业科学院,2020.
[37] 孙兴辉,金良,张文娟.内蒙古土地生态系统服务价值时空变化特征[J].内蒙古财经大学学报,2020,18(6):99-103.