

科尔沁沙地生态环境质量遥感动态监测

——以奈曼旗为例

刘 峰, 杨 光, 韩雪莹, 贾光普, 王 宁

(内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 呼和浩特 010018)

摘 要:由于科尔沁沙地的生态文明建设和城镇化的快速推进,及时的对生态环境质量进行监测显得尤为重要。利用 2000 年、2006 年、2012 年、2018 年奈曼旗的 Landsat-5 TM\8 OLI 数据,计算绿度(NDVI)、湿度(WET)、干度(NDSI)和热度(LST)4 个生态指数,基于主成分分析方法构建 RSEI 生态指数模型,对奈曼旗 18 年来生态环境质量变化进行了动态监测与评价。结果表明:绿度和湿度对奈曼旗生态环境质量起正面作用,干度和热度起负面作用;2000—2018 年 RSEI 均值增长 0.232 6,涨幅 76.49%;生态环境质量差和较差的区域面积共减少了 1 654.06 km²,优良等级的区域面积增长高达 1 048.17 km²,其中差和较差区域主要分布在中部沙区;研究期间生态环境质量改善区域面积均大于退化区域,改善面积在 2000—2006 年达到峰值,面积高达 5 327.6 km²,占总面积的 65.77%,退化区域主要集中在中部沙区;奈曼旗生态环境整体呈逆转趋势,并趋于稳定,但局部仍会出现退化现象。

关键词:奈曼旗;生态环境;RSEI 生态指数;主成分分析

中图分类号:P964

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)05-0244-06

Dynamic Monitoring of Eco-environmental Quality in

Horqin Sandy Land by Remote Sensing

— A Case Study of Naiman Banner

LIU Feng, YANG Guang, HAN Xueying, JIA Guangpu, WANG Ning

(College of Desert Control Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: Due to ecological civilization construction and rapid urbanization in Horqin Sandy land, timely monitoring of ecological environment quality is particularly important. Normalized difference vegetation index (NDVI), wetness index (WET), build-up and soil index (NDSI) and land surface temperature (LST) in Naiman Banner were calculated by using Landsat 5/TM and Landsat 8/OLI images in 2000, 2006, 2012 and 2017. Principal component analysis was used to construct RSEI ecological index model to dynamically monitored and evaluated the environmental quality changes in Naiman Banner from 2000 to 2018. The results show that NDVI and WET played the positive roles in the eco-environment quality of Naiman Banner, while NDSI and LST had the negative effect; the RSEI mean value increased 0.232 6 from 2000 to 2018, and the increase rate was 76.49%; the area of the poor and the relatively poorer co-environment quality reduced by 1 654.06 km², the excellent grade increased by as much as 1 048.72 km² and the poor and the relatively poorer areas mainly distributed in the middle sand area; during the study period, the improvement area of the eco-environment quality was larger than that of degradation area, the improvement area reached its peak during the period from 2000 to 2006, reaching 5 327.6 km² and accounting for 65.77% of the total area, the degradation area mainly concentrated in the middle sand area; the overall eco-environment of Naiman Banner showed the reversed trend and tended to be stable, but local degradation still occurred.

Keywords: Naiman Banner; ecological environment; remote sensing based ecological index; principal component analysis

收稿日期:2020-03-12

修回日期:2020-03-23

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

第一作者:刘峰(1995—),男,内蒙古锡林浩特市人,硕士研究生,主要从事荒漠化遥感监测。E-mail:1805276103@qq.com

通信作者:杨光(1974—),男,内蒙古鄂尔多斯人,博士,硕士生导师,主要从事荒漠化遥感监测。E-mail:yg331@126.com

近年来随着我国经济和人口的快速发展,生态环境恶化一系列问题得到了社会的广泛关注,能够及时的监测生态环境情况,并评价人为扰动对生态环境质量变化的影响,为政府在发展经济的同时能够科学的实施生态环境治理措施提供参考依据,促进社会经济与生态环境保护可持续发展^[1]。

生态环境监测与评价的方法众多,其中遥感技术的时效快、范围大和周期短等优点被广泛运用;近年来众多学者研究了各种基于遥感卫星技术对生态环境进行监测的方法,例如运用像元二分法模型对植被覆盖度进行动态监测^[2]、运用地表温度反演(LST)监测农业生态干旱^[3]、运用归一化水体指数(MNDWI)对陆地水体面积变化进行监测^[4]和运用沙漠化指数动态监测荒漠化地区沙化土地变化^[5]等,但生态环境变化受多方面因素影响,单一的生态因子只对生态环境中的特定生态特征有较好的解释,并不能完全反映和评价整个生态环境特征^[6],特别是在生态系统比较脆弱的沙漠化地区,需要一个综合的生态指数来进行评价。徐涵秋^[7]提出 RSEI (Remote Sensing Based Ecological Index)生态指数,其采用主成分变化方法集成了绿度(NDVI)、湿度(WET)、干度(NDSI)和温度(LST)4个生态指标评价整个研究区域的生态环境^[8],RSEI生态指数所需要的因子均可以在遥感影像中快速获取,无人因素影响,在监测和评价区域生态环境质量等方面得到了广泛研究,如徐涵秋、张灿等^[9-10]利用 RSEI 生态指数监测了水土流失区域的生态环境变化;王士远等^[11]基于 RSEI 生态指数对长白山自然保护区的生态环境质量进行了评价,并分析其变化的主要原因;杨江燕等^[12]构建了雄安新区的3个时期的 RSEI 生态指数,分析其生态环境变化及影响因素。

奈曼旗地处于科尔沁沙地腹地,属于典型的农牧交错地带,20世纪以来在自然、人口、经济和政策等影响因素的驱动下,生态环境发生了巨大的变化,本研究以2000年、2006年、2012年、2018年的 Landsat TM/OLI 影像为基础数据,运用 RSEI 生态指数模型评价奈曼旗生态环境质量在时空上的变化规律与特征,并分析其主要影响因素,为科尔沁沙地生态环境保护与综合治理提供科学依据。

1 研究区概况与数据源

1.1 研究区概况

奈曼旗位于内蒙古自治区通辽境内,地理坐标位于:120°19'40"–121°35'40"E,42°14'40"–43°32'20"N,占地总面积约为8159 km²,该区地势是受两大构造体系控制下的沉降地带,呈现西高东低、南北隆起的半封闭环状地形特征,海拔高度为200~270 m^[13],由南到北的

地貌类型依次是低山丘陵区、黄土台区和沙区。水资源丰沛,河网纵横,境内共有七条河流,包括老哈河、西辽河、叫来河、孟可河、杜贵河及柳河的支流等河流^[14]。境内水资源总量6.75亿 m³,地下水含量5.92亿 m³,地表水含量1.45亿 m³。气候属于北温带大陆性季风干旱气候。年平均气温7.0℃,年平均降水量354.3 mm^[15]。冬季多西北风,春季多西南风,年平均风速3.8 m/s。土壤类型主要为6个,分别是草甸土,沼泽土,栗钙土,盐土,风沙土与褐土^[14]。境内分布的植被种主要有山杏(*Armeniacasibirica*)、白茅(*Imperata cylindrica*)、大针茅(*Stipagrandis*)、羊草(*Leymus chinensis*)、黄柳(*Salix gordeivii*)。

1.2 数据源

本文选取2000年、2006年、2012年 TM 影像及2018年 OLI 影像为基础数据源(<http://glovis.usgs.gov/>),影像获取时间均属于奈曼旗植被生长季(6—9月),使得研究结果具有可比性,基于 ENVI5.3 对基础影像进行几何校正、辐射定标、FLAASH 大气校正等预处理;气象数据主要来源于内蒙古自治区气象局,收集了奈曼旗2000—2018年的6月、7月、8月份的平均降水与气温;社会经济数据主要来源于奈曼旗政府官方网站奈曼网(<http://www.naimanwang.com/>)。

2 研究方法

RSEI 是由归一化后的绿度(NDVI)、湿度(WET)、干度(NDSI)和热度(LST)4个指标通过主成分分析方法得到的一个能够反映整个区域生态环境质量集成指数^[9]。

2.1 绿度指标

本文选用应用最广泛的归一化植被指数(NDVI)代表绿度^[16],其与后期反演地表温度需要的植被覆盖度有着密切的关系,见式(1)。

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}} \quad (1)$$

式中: ρ_{NIR} 、 ρ_{Red} 分别代表 Landsat 的近红外和红光波段。

2.2 湿度指标

组成缨帽变化结果的湿度分量能够很好代表植被和土壤中的湿度,被广泛应用于生态环境评价中^[17-18],见式(2—3)^[19]。

$$WET(TM) = 0.0315\rho_{Blue} + 0.2012\rho_{Green} + 0.3102\rho_{Red} + 0.1594\rho_{NIR} - 0.6806\rho_{SWIR1} - 0.6109\rho_{SWIR2} \quad (2)$$

式中: ρ_{Blue} 、 ρ_{Green} 、 ρ_{Red} 、 ρ_{NIR} 、 ρ_{SWIR1} 、 ρ_{SWIR2} 分别代表 Landsat TM 传感器的1,2,3,4,5,7波段。

$$WET(OLI) = 0.1511\rho_{Blue} + 0.1972\rho_{Green} + 0.3283\rho_{Red} + 0.3407\rho_{NIR} - 0.7117\rho_{SWIR1} - 0.4559\rho_{SWIR2} \quad (3)$$

式中: $\rho_{\text{Blue}}, \rho_{\text{Green}}, \rho_{\text{Red}}, \rho_{\text{NIR}}, \rho_{\text{SWIR1}}, \rho_{\text{SWIR2}}$ 分别代表 Landsat OLI 传感器的 2, 3, 4, 5, 6, 7 波段。

2.3 干度指标

土壤干化主要由裸土地和建筑用地造成的, 因此本研究采用裸土指数(SI)和建筑指数(ABI)的平均值作为干度指标, 见式(4—6)^[9, 20-21]。

$$SI = \frac{(\rho_{\text{SWIR1}} + \rho_{\text{Red}}) - (\rho_{\text{Blue}} + \rho_{\text{NIR}})}{(\rho_{\text{SWIR1}} + \rho_{\text{Red}}) + (\rho_{\text{Blue}} + \rho_{\text{NIR}})} \quad (4)$$

$$ABI = \frac{\frac{2\rho_{\text{SWIR1}}}{\rho_{\text{SWIR1}} + \rho_{\text{NIR}}} - \left[\frac{\rho_{\text{NIR}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{Red}}} + \frac{\rho_{\text{Green}}}{\rho_{\text{Green}} + \rho_{\text{SWIR1}}} \right]}{\frac{2\rho_{\text{SWIR1}}}{\rho_{\text{SWIR1}} + \rho_{\text{NIR}}} + \left[\frac{\rho_{\text{NIR}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{Red}}} + \frac{\rho_{\text{Green}}}{\rho_{\text{Green}} + \rho_{\text{SWIR1}}} \right]} \quad (5)$$

$$NDSI = \frac{(SI + ABI)}{2} \quad (6)$$

式中: $\rho_{\text{Blue}}, \rho_{\text{Green}}, \rho_{\text{Red}}, \rho_{\text{NIR}}, \rho_{\text{SWIR1}}$ 分别代表 Landsat TM 传感器的 1, 2, 3, 4, 5 波段和 OLI 传感器的 2, 3, 4, 5, 6 波段。

2.4 热度指标

本文选用大气校正法反演地表真实温度代表热度指标。

2.4.1 地表比辐射率计算 为使地表比辐射率数据更加精确, 覃志豪在 2004 年提出分水体、自然表面和城镇区 3 种类型分别计算地表比辐射率, 见式(7—9)^[22]。

$$\text{水体: } \epsilon_{\text{water}} = 0.995 \quad (7)$$

$$\text{自然表面: } \epsilon_{\text{surface}} = 0.9526 + 0.0614P_v - 0.0461P_v^2 \quad (8)$$

$$\text{城镇区: } \epsilon_{\text{building}} = 0.9589 + 0.086P_v - 0.0671P_v^2 \quad (9)$$

式中: P_v 代表植被覆盖度; ϵ 代表地表比辐射率。

2.4.2 黑体辐射亮度与地表温度计算 卫星传感器接收到的热红外辐射亮度值 L_λ 由大气向上辐射亮度 L^\uparrow , 大气向下辐射亮度 L^\downarrow 和大气热红外波段透过率 τ 构成, 其值可在 NASA 公布的网站查询 (<http://atmcorr.gsfc.nasa.gov>), 见式(10)^[23]。

$$L_\lambda = [\epsilon B(T_s) + (1 - \epsilon)L^\downarrow] \tau + L^\uparrow \quad (10)$$

由上式可以得到黑体辐射亮度 $B(T_s)$, 见式(11)。

$$B(T_s) = \frac{L_\lambda - L^\uparrow - \tau(1 - \epsilon)L^\downarrow}{\tau\epsilon} \quad (11)$$

在获取黑体辐射亮度 $B(T_s)$ 后, 根据普朗克公式的反函数获取地表真实温度 T_s , 见式(12)^[23]。

$$T_s = \frac{K_2}{\ln[K_1/B(T_s) + 1]} \quad (12)$$

式中: K_1, K_2 是常数; TM 数据 K_1 为 $607.76 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \mu\text{m} \cdot \text{sr})$; K_2 为 $1\,260.56 \text{ K}$; OLI 数据 K_1 为 $774.89 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \mu\text{m} \cdot \text{sr})$; K_2 为 1282.71 K ^[23]。

2.5 构建 RSEI 生态指数模型

以上 4 个指标量纲不统一, 用主成分变化方法直接

集成各个指标, 会使各指标权重失衡, 因此, 需要对各指标归一化, 使其数值在 $[0, 1]$ 范围内, 见式(13)^[9]。

$$EI_i = \frac{(I_i - I_{\min})}{(I_{\max} - I_{\min})} \quad (13)$$

式中: I_i 是指标在像元 i 的值; I_{\max} 为指标的最大值; I_{\min} 为最小值。

利用 ENVI 5.3 将各指标进行主成分分析, 然后对 PC1 进行正负转置, 得到原始遥感生态指数 $RSEI_0$, 最后对原始生态指数进行归一化处理, 得到 RESI 生态指数, 见式(14—15)^[1, 9]。

$$RSEI_0 = 1 - PC1[f(NDVI, WET, NDSI, LST)] \quad (14)$$

$$RSEI = \frac{RSEI_0 - RSEI_{0_{\min}}}{RSEI_{0_{\max}} - RSEI_{0_{\min}}} \quad (15)$$

式中: $RSEI_{0_{\max}}$ 为原始遥感生态指数最大值; $RSEI_{0_{\min}}$ 为最小值; PC1 为第一主成分值; RESI 取值在 $[0, 1]$ 范围内, 值越大生态环境越好。

3 结果与分析

3.1 RSEI 构建与指标分析

由表 1 可以看出, 奈曼旗 2000—2018 年生态因子第一主成分贡献率均大于 70%, 分别为 74.55%, 80.2%, 86.88% 和 92.65%, 说明第一主成分 PC₁ 集合了 4 个指标大部分特征, 其绿度和湿度均呈正值, 这可以被理解为二者共同对生态环境质量变化起到正面作用, 干度和热度均呈负值, 二者共同起到了负面作用, PC₂, PC₃ 和 PC₄ 中各个指标与实际情况不相符, 难以解释实际的生态现象, 这与实际情况和研究思路基本相吻合, 因此 RSEI 的构建采用第一主成分。

3.2 奈曼旗生态环境质量整体分析

构建 RSEI 生态指数模型, 对 2000—2018 年奈曼旗生态环境质量进行整体分析(表 2), 2000—2018 年奈曼旗 RSEI 均值由 0.304 1 上升到 0.536 7, 涨幅为 76.49%, 生态环境质量整体呈高速改善趋势; 对生态环境质量起正面作用的绿度和湿度均值在 2000—2018 年涨幅分别为 35.96% 和 15.94%, 起负面作用的干度和热度均值呈下降趋势, 减少幅度分别为 25.17% 和 61.70%; 由各指标特征值的绝对值看出湿度和干度的值较大, 说明主要影响奈曼旗生态环境质量的指数为湿度和干度。

为进一步验证本文计算的各个因子的准确性, 统计 2000—2018 年奈曼旗夏季的平均气温和降水量(图 1), 可以得出降水量由 2000 年的 40.6 mm 上升为 2018 年的 73.8 mm, 气温由 25.1℃ 下降到了 24.3℃, 降水和气温能够间接的反映各个指标变化规律, 这与本文

各指标变化规律基本一致。

表 1 2000—2018 年奈曼旗生态因子主成分分析

年份	指标	PC ₁	PC ₂	PC ₃	PC ₄
2000	绿度	0.4807	0.4927	-0.4041	0.6023
	湿度	0.4733	0.2110	0.8550	0.0233
	干度	-0.5618	-0.1136	0.3185	0.7550
	温度	-0.4788	0.8365	0.0657	-0.2582
	贡献率/%	74.5	15.76	5.42	4.32
	特征值	0.1459	0.0309	0.0106	0.0084
	绿度	0.4732	0.4550	0.6139	0.4383
	湿度	0.5062	0.1092	-0.7564	0.3995
2006	干度	-0.5256	-0.2741	0.0337	0.8047
	温度	-0.4935	0.8402	-0.2231	-0.0268
	贡献率/%	80.2	13.75	3.49	2.56
	特征值	0.199	0.0341	0.0087	0.0064
	绿度	0.4301	0.3295	0.7902	0.2862
	湿度	0.5392	0.2284	-0.5901	0.5556
	干度	-0.5223	-0.3177	0.1342	0.7799
	温度	-0.5014	0.8592	-0.0966	0.0308
2012	贡献率/%	86.88	9.61	2.37	1.14
	特征值	0.2196	0.0243	0.0060	0.0029
	绿度	0.4746	0.4108	-0.7763	-0.0582
	湿度	0.4794	0.1119	0.2908	0.8204
	干度	-0.5378	-0.3300	-0.5448	0.5523
	温度	-0.5057	0.8425	0.1265	0.1358
	贡献率/%	92.65	4.82	1.73	0.8
	特征值	0.3475	0.0181	0.0065	0.0030

表 2 2000—2018 年各指标与 RSEI 均值

年份	参量	绿度	湿度	干度	热度	RSEI
2000	均值	0.2483	0.6391	0.7482	0.7086	0.3041
	特征值	0.4807	0.4733	-0.5618	-0.4788	—
2006	均值	0.5222	0.4429	0.6930	0.5469	0.4284
	特征值	0.4732	0.5062	-0.5256	-0.4935	—
2012	均值	0.3281	0.6972	0.6655	0.2938	0.4572
	特征值	0.4301	0.5392	-0.5223	-0.5014	—
2018	均值	0.3376	0.7410	0.5599	0.2714	0.5367
	特征值	0.4746	0.4794	-0.5378	-0.5057	—

3.3 奈曼旗生态环境质量时空变化分析

为更好地对比奈曼旗各年份 RSEI 生态指数,了解 RSEI 在空间上的分布情况,将 RSEI 值以 0.2 为间隔分为 5 个等级,分别为差、较差、一般、良好和优^[11],统计各等级面积及占比(表 3)。

2000—2018 年奈曼旗生态环境差和较差的地区面积所占比例分别为 86.11%,73.3%,70.34%和 65.69%,呈逐年减少趋势,共减少了 1 654.06 km²,属于高速衰退型,其中生态环境差的面积在 2012—2018 年出现上涨趋势,但上涨幅度较小,所占比例增加了 1.76%,较差的面积则呈现逐年下降趋势;生态环境一般的面积呈现逐年增加趋势,增涨了 102.87 km²,所占比例仅增加了 1.27%;良好和优等级呈现逐年增加趋势,共增加面积 1 551.19 km²,其中生态

环境质量优等级的面积所占比例由 2000 年 1.98%上涨到 2018 年 14.92%,共上涨了 12.31%,属于高速扩展型;由此看出奈曼旗的生态环境质量主要是差和较差为主,但所占比例逐年减少,良好和优所占比例逐年增涨,总体来看其生态环境质量的到改善。

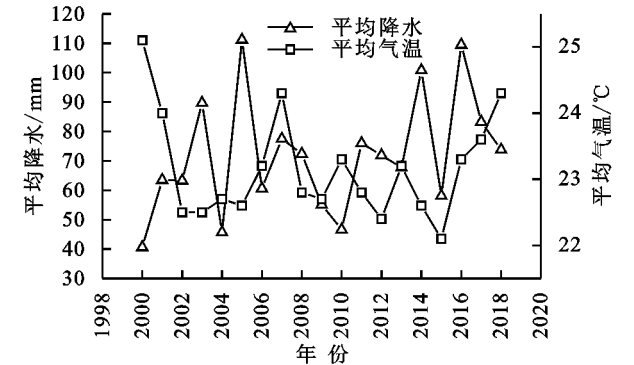


图 1 2000—2018 年奈曼旗夏季平均气温与降水量

为更加直观的了解 RSEI 生态指数各等级在空间上的分布情况,本文根据地势地貌将奈曼旗分为 3 个亚区进行分析(图 2),3 个亚区分别为南部黄土区、中部沙区和北部冲积平原区^[24];2000 年差和较差等级几乎占据了整个中部沙区和南部黄土区,优和良好零星分布在北部冲积平原区 and 中部沙区,生态环境质量较低,其主要原因之一是人口的增加对自然资源的需求量增加,政府实施的生态环境治理措施滞后;2006 年差和较差等级主要分布在中部沙区和北部冲积平原区,较 2000 年差等级面积减少,较差等级占主导地位,南部黄土区主要分布为一般和良好等级,紧挨中部沙区还有差和较差等级分布,但生态环境恢复效果明显;2012 年差和较差等级主要分布亚区较 2006 年无明显变化,其中一部分差等级转化为较差等级,北部冲积平原区一般和良好等级面积明显增加,较 2006 年,一般和良好等级几乎分布在整个南部黄土区;2018 年可以明显看出北部冲积平原区优等级的面积增加,差和较差等级只是零星分布,中部沙区依旧由差和较差等级占主导地位,并且西部主要沙区的差等级面积有些增加,生态环境质量出现局部恶化,南部黄土区变化最为明显,一般等级大部分向优和良好等级转移。

总体上来看奈曼旗生态环境改善效果明显,其改善的主要因素可以分为自然和人为因素,其中自然因素主要包括 2000—2018 年奈曼旗植物生长季的降水逐渐增加,温度小幅度上涨,地表植被得到充足的水源,使得各沙化土地面积减少,林草地面积增加;人为因素主要包括奈曼旗经济的不断发展,人们对薪柴的需求降低,滥砍滥发现象减少,以及“三北防护林”体系、退耕还林还草、退牧还草、舍饲禁牧等一系列的生态环境治理政策的实施,使得奈曼旗生态环境质量逐渐好转。

表 3 2000—2018 年奈曼旗 RSEI 各等级面积及百分比

等级	2000 年		2006 年		2012 年		2018 年	
	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
差	5287.81	65.28	4297.97	53.06	4208.86	51.96	4351.43	53.72
较差	1687.27	20.83	1639.48	20.24	1488.82	18.38	969.59	11.97
一般	642.35	7.93	1116.21	13.78	1171.29	14.46	745.22	9.20
良好	322.39	3.98	681.23	8.41	733.88	9.06	825.41	10.19
优	160.38	1.98	365.32	4.51	496.54	6.13	1208.55	14.92

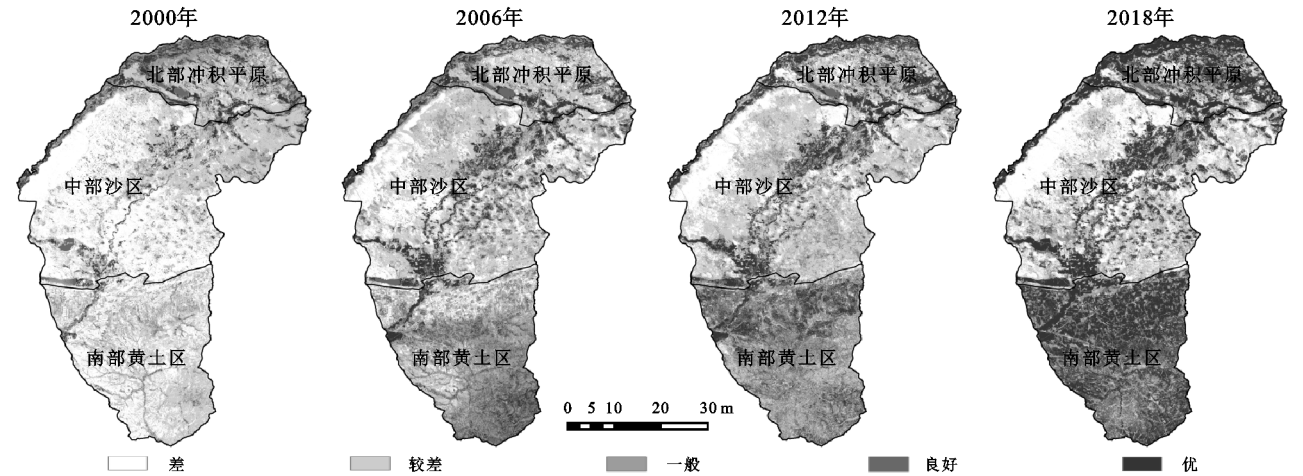


图 2 2000—2018 年奈曼旗 RSEI 等级分布

3.4 奈曼旗生态环境质量差值分析

为揭示奈曼旗生态环境质量 2000—2006 年、2006—2012 年、2012—2018 年 3 个时间段上的动态变化,分析各时间段 RSEI 生态指数的差值,并参考《生态环境状况评价技术规范》和文献,将变化类型分为严重退化、轻微退化、稳定、轻微改善和显著改善 5 个等级^[25-26]。

结合表 4 和图 3 分析,第一时间段奈曼旗生态环境质量改善面积达到 5 327.6 km², 占总面积的 65.77%,其中以轻微改善为主,主要变好区域为中部沙区和南部黄土区,其中显著改善主要集中在耕地为主的南部黄土区,这说明生态环境建设工程起到了积极作用,变差区域仅占总面积的 14.95%,且以轻微退化为主,主要集中在北部冲积平原区;第二时间段相较于第一时间段生态环境质量改善程度较为缓慢,面积总和为 3 324.72 km²,面积占比降低了 2.73%,稳定面积增加了 571.93 km²,部分区域出现退化趋势,其中以轻微退化为主,为 1 976.27 km²,面积占比相较于第一时间段增加了 13.25%,退化区域主要分布

在中部沙区和南部黄土区,这与 2006—2012 年降水减少导致地表植被长势较差以及城镇化建设导致的土地利用结构不平衡有着密不可分的关系;第三时间段,生态环境质量以稳定为主,面积达到了 2 509.54 km²,占总面积的 30.98%,改善区域集中在北部冲积平原区和南部黄土区,面积 3 797.03 km²,占总面积的 46.88%,生态环境质量退化区域主要以轻微退化为主,面积为 1 617.57 km²,占总面积的 19.97%,主要分布在中部沙区,只有零星区域出现严重退化,只占总面积的 2.17%,中部沙区退化的主要因素是不合理的人为扰动导致沙化土地自然环境被破坏。

2000—2018 年生态环境质量改善区域面积均大于退化区域,2000—2006 年达到了峰值,后期改善和退化面积逐渐减少,稳定面积逐渐占据主导地位,这表明生态环境治理措施已逐渐成熟,效果显著。总体上来看奈曼旗生态环境质量呈逆转趋势,并逐渐趋于稳定,但局部区域仍然会出现退化现象,需继续加大生态环境治理。

表 4 2000—2018 年奈曼旗 RSEI 差值变化

变化类型	分级标准	2000—2006 年		2006—2012 年		2012—2018 年	
		面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
严重退化	< -20	307.46	3.80	665.64	8.22	176.06	2.17
轻微退化	-20 ~ -5	903.52	11.15	1976.27	24.40	1617.57	19.97
稳定	-5 ~ 5	1561.63	19.28	2133.56	26.34	2509.54	30.98
轻微改善	5 ~ 20	2870.19	35.43	2143.70	26.46	2019.01	24.93
显著改善	> 20	2457.41	30.34	1181.02	14.58	1778.02	21.95

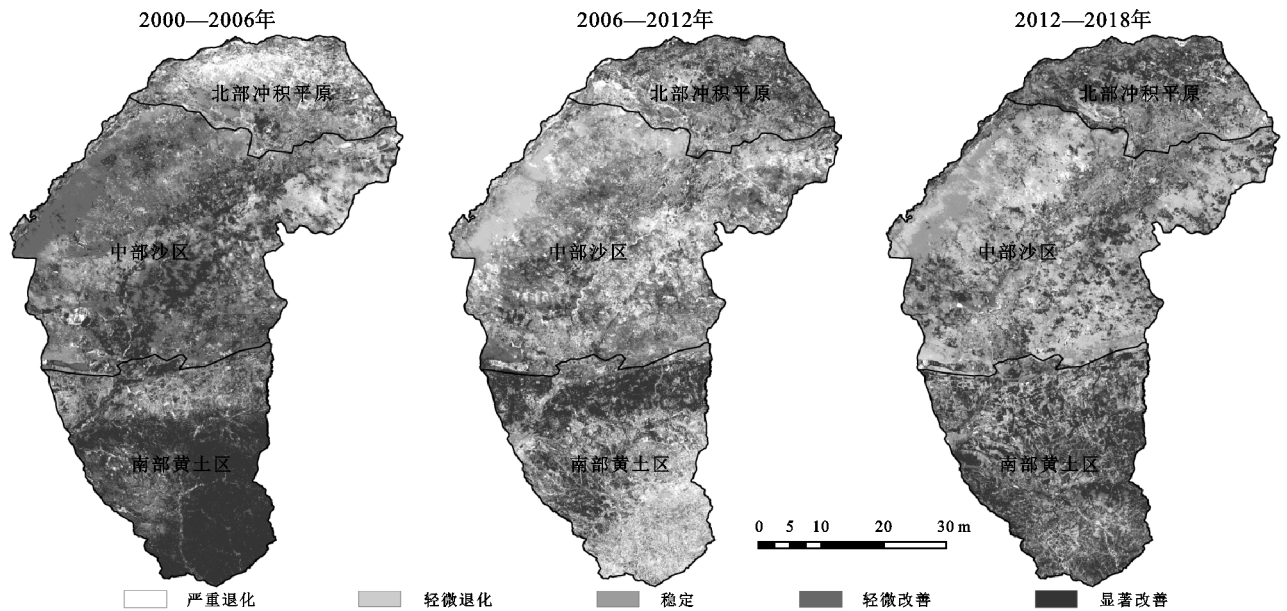


图 3 2000—2018 年奈曼旗 RSEI 差值变化等级

4 结论

(1) NDVI, WET, NDSI 和 LST 构建的 RSEI 生态指数能够很好反映奈曼旗生态环境质量变化特征及在时空上的差异,其中 NDVI 和 WEI 对生态环境起正面作用,NDSI 和 LST 起负面作用,其中 WET 和 NDSI 的特征值的绝对值较大,说明 WET 与 NDSI 是奈曼旗生态环境质量重要的影响因子。

(2) 研究期间奈曼旗 RESI 均值增长了 0.232 6,起正面作用的 NDVI 和 WET 均值逐年增长,起负面作用的 NDSI 和 LST 均值逐年减少,降水增加、温度的降低是其变化的主要因素,生态环境质量整体呈现改善趋势。

(3) 研究期间奈曼旗生态环境质量差和较差的区域面积共减少 1 654.06 km²,一般、良好和优的区域面积逐年增长,优等级区域增长高达 1 048.17 km²,生态环境质量显著改善,到 2018 年差和较差等级主要分布在中部沙区,南部黄土区和北部冲积平原区主要以一般、良好和优等级为主。

(4) 研究期间奈曼旗生态环境质量改善区域面积均大于退化区域,并在 2000—2006 年达到峰值,改善面积高达 5 327.6 km²,占总面积的 65.77%,稳定区域面积在 2012—2018 年占据主导地位,占总面积的 30.98%,研究期间退化区域主要出现在中部沙区,改善区域主要集中在北部冲积平原区和南部黄土区,生态环境局部仍会出现退化现象,但整体得到改善。

在自然因素和人为因素共同作用下,2000—2018 年奈曼旗生态环境质量整体呈现改善趋势,但由于经济的发展和人口的增多致使人为扰动程度加强,导致局部区域生态环境质量出现退化现象,因此政府在发

展经济的同时需继续加大生态环境治理力度,坚持生态环境保护与经济可持续发展。

参考文献:

- [1] 杭鑫,罗晓春,曹云,等.基于 RSEI 模型的生态质量评估及城镇化影响:以南京市为例[J].应用生态学报,2020,31(1):219-229.
- [2] 佟斯琴,包玉海,张巧凤,等.基于像元二分法和强度分析方法的内蒙古植被覆盖度时空变化规律分析[J].生态环境学报,2016,25(5):737-743.
- [3] Hu T, Renzullo L J, van Dijk A I J M, et al. Monitoring agricultural drought in Australia using MTSAT-2 land surface temperature retrievals[J]. Remote Sensing of Environment, 2020,236:111419.
- [4] 肖茜,杨昆,洪亮.近 30 a 云贵高原湖泊表面水体面积变化遥感监测与时空分析[J].湖泊科学,2018,30(4):1083-1096.
- [5] 岳喜元,左小安,赵学勇,等.科尔沁沙地沙漠化风险评价[J].中国沙漠,2018,38(1):8-16.
- [6] 罗维,易海杰,李红举,等.洋河流域土地利用时空变异及其对生态服务功能价值的影响[J].生态学报,2017,37(16):5342-5351.
- [7] 徐涵秋.城市遥感生态指数的创建及其应用[J].生态学报,2013,33(24):7853-7862.
- [8] 茹克亚·萨吾提,阿不都艾尼·阿不里,李虎,等.基于遥感生态指数模型的阜康市生态环境动态变化监测与评价[J].水土保持研究,2020,27(1):283-289,297.
- [9] 徐涵秋.水土流失区生态变化的遥感评估[J].农业工程学报,2013,29(7):91-97,294.
- [10] 张灿,徐涵秋,张好,等.南方红壤典型水土流失区植被覆盖度变化及其生态效应评估:以福建省长汀县为例[J].自然资源学报,2015,30(6):917-928.

- restrial mammals[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2017, 114(29): 7635-7640.
- [12] 王琼, 范志平, 李法云, 等. 蒲河流域河流生境质量综合评价及其与水质响应关系[J]. 生态学杂志, 2015, 34(2): 516-523.
- [13] 杨建强, 朱永贵, 宋文鹏, 等. 基于生境质量和生态响应的莱州湾生态环境质量评价[J]. 生态学报, 2014, 34(1): 105-114.
- [14] 雷呈, 黄琪, 倪才英, 等. 袁河流域河流生境质量评价及其影响因素分析[J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 2019, 43(4): 425-432.
- [15] 彭建, 徐飞雄. 不同格网尺度下的黄山市生境质量差异分析[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(6): 887-897.
- [16] 顾羊羊, 黄贤峰, 邹长新, 等. 沅江源自然保护区生境质量变化遥感监测[J]. 生态与农村环境学报, 2019, 35(6): 764-772.
- [17] 包玉斌, 刘康, 李婷, 等. 基于 InVEST 模型的土地利用变化对生境的影响: 以陕西省黄河湿地自然保护区为例[J]. 干旱区研究, 2015, 32(3): 622-629.
- [18] 税燕萍, 卢慧婷, 王慧芳, 等. 基于土地覆盖和 NDVI 变化的拉萨河流域生境质量评估[J]. 生态学报, 2018, 38(24): 8946-8954.
- [19] 巩杰, 马学成, 张玲玲, 等. 基于 InVEST 模型的甘肃白龙江流域生境质量时空分异[J]. 水土保持研究, 2018, 25(3): 191-196.
- [20] 荣月静, 张慧, 王岩松. 基于 Logistic-CA-Markov 与 InVEST 模型对南京市土地利用与生物多样性功能模拟评价[J]. 水土保持研究, 2016, 23(3): 82-89.
- [21] 包玉斌, 刘康, 李婷, 等. 基于 InVEST 模型的土地利用变化对生境的影响: 以陕西省黄河湿地自然保护区为例[J]. 干旱区研究, 2015, 32(3): 622-629.
- [22] 李俊, 董锁成, 李宇, 等. 宁蒙沿黄地带城镇用地扩展驱动力分析与情景模拟[J]. 自然资源学报, 2015, 30(9): 1472-1485.
- [23] 褚琳, 张欣然, 王天巍, 等. 基于 CA-Markov 和 InVEST 模型的城市景观格局与生境质量时空演变及预测[J]. 应用生态学报, 2018, 29(12): 4106-4118.
- [24] 顾羊羊, 黄贤峰, 邹长新, 等. 沅江源自然保护区生境质量变化遥感监测[J]. 生态与农村环境学报, 2019, 35(6): 764-772.

(上接第 249 页)

- [11] 王士远, 张学霞, 朱彤, 等. 长白山自然保护区生态环境质量的遥感评价[J]. 地理科学进展, 2016, 35(10): 1269-1278.
- [12] 杨江燕, 吴田, 潘肖燕, 等. 基于遥感生态指数的雄安新区生态质量评估[J]. 应用生态学报, 2019, 30(1): 277-284.
- [13] 郭佳佳. 奈曼旗兴隆沼林场土地沙漠化评价研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2018.
- [14] 杨济. 内蒙古奈曼旗教条河河谷谷坡风水复合侵蚀机理研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2011.
- [15] 董佳蕊, 张桂英, 刘媛媛. 2017 年奈曼旗干旱灾害分析[J]. 现代农业科学, 2018(9): 241, 244.
- [16] Goward S N, Xue Y K, Czajkowski K P. Evaluating land surface moisture conditions from the remotely sensed temperature/vegetation index measurements An exploration with the simplified simple biosphere model[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 79(2/3): 225-242.
- [17] Crist E P. A TM tasseled cap equivalent transformation for reflectance factor data[J]. Remote Sensing of Environment, 1985, 17(3): 301-306.
- [18] Huang C, Wylie B, Yang L, et al. Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance[J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(8): 1741-1748.
- [19] Baig M H A, Zhang L, Shuai T, et al. Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance[J]. Remote Sensing Letters, 2014, 5(5): 423-431.
- [20] Rikimaru A, Roy P S, Miyatake S. Tropical forest cover density mapping[J]. Tropical Ecology, 2002, 43(1): 39-47.
- [21] Xu H Q. A new index for delineating built-up land features in satellite imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(14): 4269-4276.
- [22] 覃志豪, 李文娟, 徐斌, 等. 陆地卫星 TM6 波段范围内地表比辐射率的估计[J]. 国土资源遥感, 2004, 3(61): 28-36.
- [23] 乐通潮, 聂森, 潘辉, 等. 基于 Landsat8 卫星影像的地表温度反演及福州春季城市热岛效应分析[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(5): 154-160.
- [24] 张继平, 常学礼, 李健英, 等. 内蒙古奈曼旗农牧交错区土地利用/覆被变化的区域分异[J]. 应用生态学报, 2008, 19(3): 613-620.
- [25] 蒋超亮, 吴玲, 刘丹, 等. 干旱荒漠区生态环境质量遥感动态监测: 以古尔班通古特沙漠为例[J]. 应用生态学报, 2019, 30(3): 877-883.
- [26] 张文强, 孙从建, 李新功. 晋西南黄土高原区植被覆盖度变化及其生态效应评估[J]. 自然资源学报, 2019, 34(8): 1748-1758.