武爱彬,陈辅国,赵艳霞,等.北方农牧交错区生态环境质量动态评价及影响因素分析——以河北坝上地区为例[J].山西农业大学学报(自然科学版),2024,44(6):12-24.
Wu A B, Chen F G, Zhao Y X, et al.Dynamic evaluation of ecological environment quality and analysis of influencing factors in the northern agro-pastoral ecotone: A case study of Bashang Area in Hebei Province[J].Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2024,44(6):12-24.
doi: 10.13842/j.cnki.issn1671-8151.202404038

北方农牧交错区生态环境质量动态评价及影响因素分析——以河北坝上地区为例

武爱彬[1],陈辅国[2],赵艳霞[1*],秦彦杰[1],沈会涛[1],刘欣[1]

(1.河北省科学院 地理科学研究所/河北省地理信息开发应用技术创新中心,河北 石家庄 050011;
2.河北地质大学 土地科学与空间规划学院,河北 石家庄 050031)

摘　要:[目的]农牧交错区是我国典型的生态脆弱区,精准评估农牧交错区生态环境质量与影响因素对地区的生态环境保护及治理有重要作用,可以为区域生态文明建设与实现可持续发展提供科学参考。[方法]本文基于Google earth engine(GEE)平台,利用2000—2020年Landsat遥感影像、土地利用数据、植被净初级生产力数据,根据河北坝上地区的生态特点,构建新型遥感生态指数(new Remote Sensing Ecological Index,nRSEI),评估了河北坝上地区2000—2020年的生态环境质量动态变化特征,并引入地理探测器分析了影响生态环境质量变化的自然因素和社会经济因素。[结果](1)2000—2020年河北坝上地区nRSEI均值经历了"上升—下降—上升"的过程,总体表现为增加。研究区东侧生态环境质量较高,西部区域的生态环境质量略低;(2)2000—2020年期间河北坝上地区生态环境质量变化中改善的面积占比较高,占研究区总面积的76.16%,生态环境质量改善主要发生在研究区西部;恶化的面积占比为8.20%,生态环境质量下降主要发生在研究区东部;(3)2000—2020年期间河北坝上地区生态环境质量空间分布呈现出显著的空间自相关性,局部聚集以"高—高"和"低—低"为主;(4)2000—2020年,单因子中对生态环境质量影响较大的为自然因素中的温度、降水量和坡度以及社会经济因素中距一级、三级道路距离、距县政府距离;2000年和2010年与距一级、三级道路距离、距县政府距离交互的组合交互作用值较高;2005年、2015年和2020年则是与降水量交互的组合交互作用值较高。[结论]河北坝上地区的生态环境质量虽近年有所好转,但其仍处在生态脆弱地区,应重视其生态环境的保护及治理,减少气候变化和人类活动对生态环境造成的破坏。

关键词:农牧交错区; 生态环境质量; 新型遥感生态指数; 地理探测器模型
中图分类号:X821;S127　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1671-8151(2024)06-0012-13

北方农牧交错区位于我国半湿润与半干旱气候区接壤的过渡地带,也称半农半牧区[1],开垦和放牧是该区域主要的土地利用方式。但大面积、高强度的草地开垦和过度的放牧使农牧交错区的生态系统变得极其脆弱,导致草场沙化、盐碱化甚至荒漠化[2],使得该地区成为生态环境问题较为严重的生态脆弱带和环境敏感区[3-4]。当前对农牧交错带的研究内容主要涉及植被生态功能及其影响因素[5-7]、提升作物产量以及品质[8-11]、土壤质量变化的影响因素[12-13]和土地利用格局的优化模拟[14-15]等方面,对农牧交错区生态环境质量的研究较少。

生态环境质量是指在一个具体的时空范围内生态系统的总体或部分生态环境因子的组合体与人类活动以及社会经济持续发展的协调程度[16]。评估生态环境质量可为生态环境保护、治理和区域高质量发展提供重要参考。早期研究中,有学者采用单一的指标反映生态系统的质量,如城市热岛效应[17]、植被覆盖状况[18-19]以及水体质量[20]等,忽略了生态环境受到多方面的共同作用。我

收稿日期:2024-04-15　　**修回日期**:2024-05-30
基金项目:河北省科学院科技计划项目(24106)
作者简介:武爱彬(ORCID:0000-0001-8361-454X),副研究员,研究方向:国土资源管理与生态修复,E-mail:wu.ai.bin@163.com
*通信作者:赵艳霞,研究员,E-mail:zhyx8698@163.com

国于2015年颁布了《生态环境状况评价技术规范》[21],综合生物丰富度、植被覆盖状况、水网密度、土地胁迫状况、污染负荷和环境限制因素对生态环境进行评价,但由于其数据来源多为统计年鉴,空间化难以实现[22],时效性较差且无法在空间上进行针对性分析。而遥感技术具有快速高效、时效性强等优点,徐涵秋等[23]基于遥感技术提出遥感生态指数(Remote Sensing Ecological Index,RSEI),其耦合了绿度(Normalized difference vegetation index)、干度(Normalized difference building and soil index,NDBSI)、湿度(Wetness,WET)、温度(Land surface temperature,LST)4个指标对福州市的生态环境质量进行了评价。近年来遥感生态指数被学者们广泛运用在县[24-25]、市[26-28]、城市群[29-30]、山区[31]、流域[32-33]等尺度的生态环境评价分析中。随后,部分学者根据不同地区的生态特点在原指数基础上耦合新的评价指标[34-37],研究表明融合当地特点的新生态指数能够更加全面有效地评价区域生态环境质量。

近年来,学者们对生态环境质量的影响因素进行分析寻求改善生态环境的有效途径,李晓雅等[38]基于相关性分析探究了党河源区不同土地利用类型的生态环境质量与气候和经济社会发展的关系;王苗等[39]通过主成分分析发现,人为因素对生态环境的影响较大;王睿等[40]采用地理加权回归模型探究了生态环境与耕地利用生态效率之间的关系。但生态环境是一个复杂的整体,受多方面因素的影响,上述方法无法探究因素之间对生态环境的共同影响。而地理探测器模型可以探测地理现象的空间分异,并揭示各个驱动因子对空间分布的解释力。同时,还能探测驱动因子两两组合的交互作用对空间分异的影响[41],因此本文采用地理探测器模型分析驱动因子以及因子之间对生态环境质量的影响。

河北坝上地区位于河北省西北部,是京津冀地区重要的生态屏障[5],起到遏制荒漠化、保护京津冀地区免受沙尘危害的作用。该地区本身的生态脆弱性加上气候变化和人类活动加剧,使其面临着生态环境恶化、植被退化以及水资源短缺等一系列生态环境问题[42-43]。准确客观地评估坝上区域的生态环境质量,分析其时空变化特征,掌握背后的驱动因素,对区域的生态环境保护治理政策的制定具有重要的意义。河北坝上地区土地覆被以林地和草地为主,植被覆盖度较高,生物丰富度(Biological abundance,BA)和植被净初级生产力(Net primary productivity,NPP)对区域生态环境质量起到关键作用。鉴于此,本文在RSEI指数的基础上融入生物丰度指数和植被净初级生产力构建新型遥感生态指数nRSEI以表征区域生态环境质量,定量评估坝上区域2000-2020年生态环境质量,并引入地理探测器结合分析自然因素和社会经济因素对区域生态环境质量变化的影响程度,为河北坝上区域的生态环境治理和可持续发展提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

河北坝上区域位于京津冀地区西北部,研究区位于40°38′30″~42°40′30″ N、113°49′00″~117°53′00″ E,包括张家口市的张北县、康保县、尚义县、沽源县以及承德市的围场满族蒙古族自治县部分地区、丰宁满族自治县部分地区(图1)。坝上地区海拔为800~2300 m,地貌类型主要为丘陵和平原,总体呈现东南高、西北低的格局。坝上地区为温带大陆性季风气候,寒冷、多风、干旱是其最明显的特征。坝上地区地表覆盖以林草地为主,但随着气候变化以及人类活动的影响,草场退化、湖泊干涸,生态环境受到严重影响。

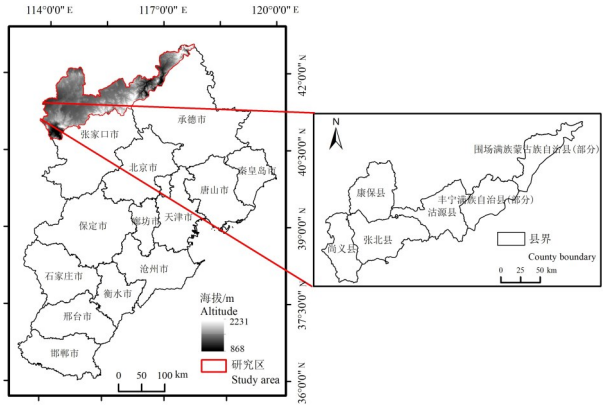

图1　研究区位置及高程

Fig.1　The location and elevation of the study area

1.2　数据来源及预处理

本文使用的数据包括Landsat遥感影像,土地利用/覆被数据,植被净初级生产力数据,夜间灯

光,气温,降水量,人口密度,GDP,高程,坡度,坡向,一、二、三级道路,县政府坐标以及河流数据等,具体见表1。遥感影像由GEE平台调用,选取2000年、2005年、2010年、2015年、2020年5期Landsat遥感影像,为保证数据的可靠性和结果的可比性,选取研究区范围内云量低于5%且植被处于生长期(6-10月)的遥感影像。基于土地利用/覆被数据,根据环境保护部发布的《生态环境状况评价技术规范》[21]中规定的权重计算得到生物丰度指数;坡度以及坡向数据均在Arcgis 10.8中处理高程数据得出;利用Arcgis 10.8中"欧氏距离"分别对道路以及河流数据进行处理,分别得到距离道路以及河流的距离。

表1 数据来源及说明

Table 1 Data sources and description

数据 Data	分辨率 Resolution	数据来源 Data source
Landsat5/8	30 m	美国地质调查局(https://glovis.Usgs..gov/app)
土地利用/覆被数据	30 m	武汉大学中国土地覆被数据集[44]
植被净初级生产力	500 m	NASA的MODIS产品网站(https://ladsweb.Nascom.Nasa.gov)
气温	1000 m	国家气象科学数据中心(http://data.cma.cn)
降水量	1000 m	
人口密度	1000 m	国家地球系统科学数据中心(http://www.geodata.cn)
GDP	1000 m	
夜间灯光[45]	1000 m	国家青藏高原科学数据中心(https://data.tpdc.ac.cn/home)
高程	30 m	地理空间数据云(https://www.gscloud.cn/)
一、二、三级道路	—	OpenStreetMap(https://www.openstreetmap.org)
水系	—	国家基础地理信息中心(http.//www.ngcc.cn/)
距县政府距离	—	利用POI反查工具获取6个县政府名称坐标,采用欧氏距离进行计算

1.3 研究方法

1.3.1 nRSEI指标计算

考虑到河北坝上地区主要土地覆被类型为草地与林地,本研究构建包含绿度(NDVI)、湿度(WET)、热度(LST)、干度(NDBSI)、生物丰度(BA)、植被净初级生产力(NPP)的新型遥感生态指数评估河北坝上地区的生态环境质量。其中,生物丰度由土地利用/覆被数据通过《生态环境状况评价技术规范》[21]中的权重计算获得;NPP直接调用MODIS数据集;绿度、湿度、热度、干度的具体计算方法见表2。

1.3.2 构建nRSEI

不同指标其量纲不同,为减少其对结果的影响,对上述指标进行标准化处理,计算公式如下:

$$I_N = I - I_{min}/I_{max} - I$$

式中:I_N表示标准化后的指标值;I为指标值;I_{min}、I_{max}分别表示指标的最小值和最大值。

将标准化后的指标耦合并进行主成分分析(PCA),得到各主成分分量,由第一主成分构建nRSEI,计算公式如下:

$$nRSEI = f(NDVI, WET, LST, NDBSI, BA, NPP)$$

式中:nRSEI为新型遥感生态指数;NDVI为归一化植被指数;WET为湿度分量;NDBSI为干度指标;LST为地表温度;BA为生物丰度;NPP为植被净初级生产力。将nRSEI进行标准化,使其值介于[0,1],越接近1代表研究区生态环境质量越好,反之,则越差。为了更直观地对比不同时期生态环境质量状况,根据前人经验[6,31-32]以及研究区实际情况,将nRSEI分为5个水平,差(0~0.2),较差(0.2~0.4),中等(0.4~0.6),良好(0.6~0.8),优(0.8~1)。

1.3.3 空间自相关分析

空间自相关能够检验某个空间位置的生态环境质量与相邻空间的生态环境质量是否具有关联性,包括全局空间相关性和局部空间相关性[34]。本文通过计算global Moran's Ⅰ指数分析2000-2020年坝上地区生态环境质量总体空间关联程度与空间差异性;计算local Moran's Ⅰ指数评估区

表2　指标计算公式

Table 2　The index calculation formula

指标 Index	公式 Formula
绿度	$NDVI=\frac{NIR-Red}{NIR+Red}$
湿度	$WET_{TM}=0.3102\times RED+0.1594\times NIR+0.0315\times BLUE+0.2021\times GREEN-0.6806\times SWIR1-0.6109\times SWIR2$ $WET_{OLI}=0.3282\times RED+0.3407\times NIR+0.1511\times BLUE+0.1972\times GREEN-0.7117\times SWIR1-0.4559\times SWIR2$
热度	$LST_{TM}=\frac{Tb}{1+(0.001145*\left(\frac{Tb}{1.438}\right)*\ln(EM))}-273.15$ $LST_{OLI}=\frac{Tb}{1+(0.0010904*\left(\frac{Tb}{1.438}\right)*\ln(EM))}-273.15$
干度	$NDBSI=\frac{SI+IBI}{2}$ $SI=\frac{(SWIR1+RED)-(NIR+BLUE)}{(SWIR1+RED)+(NIR+BLUE)}$ $IBI=\frac{2\times\frac{SWIR1}{SWIR1+NIR}-\left(\frac{NIR}{NIR+RED}+\frac{GREEN}{GREEN+SWIR1}\right)}{2\times\frac{SWIR1}{SWIR1+NIR}+\left(\frac{NIR}{NIR+RED}+\frac{GREEN}{GREEN+SWIR1}\right)}$

注:RED为红外波段;NIR为近红外波段;BLUE为蓝波段;GREEN为绿波段;SWIR1、SWIR2分别为短波红外1波段和短波红外2波段;Tb是热红外波段(thermal)的温度值,通过thermal*0.1计算得到;EM是地表发射率

Note: RED: the infrared band; NIR: the near−infrared band; BLUE: the blue band; GREEN: the green band; SWIR1 and SWIR2: the short−wave infrared 1 and short−wave infrared 2 bands, respectively; Tb represented the temperature value of the thermal infrared band, which was calculated by thermal*0.1; EM: the emissivity of the ground surface

域之间的相关性和显著程度。

1.3.4　地理探测器

地理探测器是探测空间异质性以及揭示其背后驱动因子的统计学方法[41]。本文利用因子探测和交互探测2个模块,将nRSEI作为因变量,从自然和社会经济2方面选取12个驱动因子作为自变量,分析研究区生态环境质量驱动因子影响程度。

$$q=1-\frac{1}{N\sigma^2}\sum_{h-1}^{L}N_h\sigma_h^2$$

式中:N为研究单元个数;σ^2为样本方差;L表示第h类影响因素的分类个数;N_h和σ_h^2分别表示第h类的影响因素的样本量和方差;q为探测指标大小,数值越大表示该因素的影响越大。此外,本文采用交互作用探测,分析不同影响因素的共同作用对生态环境质量的解释力度,交互作用结果可以分为5类,如表3。

表3　交互作用类型判断依据

Table 3　Judgment basis for interaction types

判断依据 Judgment basis	交互作用类型 Interaction type
$q(X1\cap X2)<Min(q(X1),q(X2))$	非线性减弱
$Min(q(X1),q(X2))<q(X1\cap X2)<Max(q(X1),q(X2))$	单因子非线性减弱
$q(X1\cap X2)>Max(q(X1),q(X2))$	双因子增强
$q(X1\cap X2)=q(X1)+q(X2)$	独立
$q(X1\cap X2)>q(X1)+q(X2)$	非线性增强

1.3.5　生态环境质量驱动因子选取

生态环境质量是多方面因素相互作用形成的结果[30]。植被的分布受高程、坡度、坡向、距离河流距离的影响,植被不同导致生态环境质量存在差异;温度、降水对植被的生长状况有一定的影响,故而对生态环境质量也产生了影响。因此,本文在自然方面选取温度、降水、高程、坡度、坡向、距河流的距离作为驱动因子。除自然因素以外,人类活动对生态环境同样产生了影响,人口密度、距一级道路距离、距二级道路距离、距三级道路距离、夜间灯光、距县政府距离均能表示人类活动的强度。本文选取上述共12个驱动因子,利用地理探测器研究各因子对nRSEI的影响程度。

2 结果

2.1 nRSEI主成分结果

河北坝上地区新型遥感生态指数计算的主成分分析见表4。由表4可知,坝上地区2000年、2010年及2020年nRSEI计算中第一主成分PC1的贡献率分别为52.72%、54.77%、54.17%,均超过了50%,说明PC1已经包含了6个生态指标的大部分特征。绿度、湿度、生物丰度和植被净初级生产力在第一主成分的特征向量均为正,表明这些指标对研究区生态环境质量起到改善的作用;干度和热度特征向量均为负值,表明干度和热度对研究区的生态环境质量起负面作用,这与实际情况一致,说明第一主成分可以用来构建nRSEI。

表4 第一主成分分析结果

Table 4 Analysis results of the first principal components

年份 Year	绿度 NDVI	湿度 WET	干度、NDBSI	热度 LST	植被净初级生产力 NPP	生物丰度 BA	特征值 Eigenvalue	贡献率/% Contribution rate
2000	0.52	0.21	−0.29	−0.21	0.31	0.72	0.066 4	52.72
2010	0.48	0.21	−0.35	−0.28	0.34	0.66	0.087 7	54.77
2020	0.27	0.12	−0.19	−0.25	0.38	0.72	0.072 7	54.17

2.2 河北坝上地区生态环境质量结果

2.2.1 nRSEI均值变化

2000-2020年河北坝上地区nRSEI统计见图2,nRSEI均值分别为0.471 8、0.530 4、0.503 3、0.471 1和0.567 7,均保持为中等质量水平。上四分位数、中位数、下四分位数分别由2000年的0.539 9、0.433 2、0.377 2升至2020年的0.654 0、0.516 7、0.479 0,研究期间坝上地区生态环境质量良好,生态环境质量总体上呈现改善趋势。

2000-2020年,nRSEI均值上涨幅度为20.33%。其中2000-2005年nRSEI由0.471 8上升至0.530 4,上升幅度达到12.42%;2005-2015年,nRSEI不断下降,由0.530 4下降至0.471 1,下降幅度为11.18%;2015-2020年nRSEI由0.471 1上升至0.567 7,上升幅度达到20.51%。nRSEI均值经历了“上升-下降-上升”的过程,研究区生态环境质量表现为“改善-恶化-改善”。研究初期研究区的生态环境保护较好,生态环境质量改善,中期生态环境质量下降,原因之一是在此期间,坝上地区的降水量减少、气温上升,坝上地区干旱程度增加导致了草场和湖淖的退化,严重干扰了生态环境质量。近几年生态环境得到保护,生态环境质量上升幅度较高。

2.2.2 生态环境质量空间分布

为直观反映河北坝上地区的生态环境质量变化,由前文划分的等级绘制2000-2020年河北坝上地区各等级的空间分布图(图3)。由图3可知,

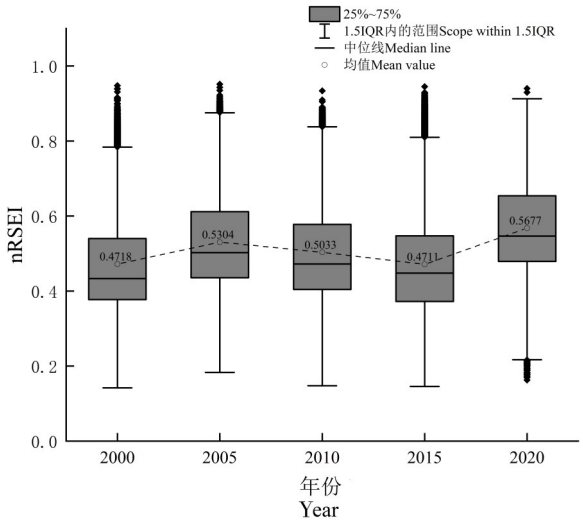

图2 2000—2020年河北坝上地区nRSEI均值的箱形图

Fig.2 The mean nRSEI and boxplot of Bashang area in Hebei Province from 2000 to 2020

2000-2020年河北坝上地区东侧靠近燕山山脉的区域的生态环境质量均优于西部区域,这是由于东部的林地、草地占比较高,植被覆盖度较高。2000-2020年河北坝上地区不同生态质量等级中占比最高的为中等级别,各期占比分别为43.52%、57.99%、51.66%、44.56%和57.14%,与nRSEI的变化趋势一致,呈“上升-下降-上升”趋势,研究区中处于中等级别的面积增加了31.62%;研究初期,差与较差级别的占比较高,占比之和达到38.06%,2020年差与较差级别的面积占比和仅为3.65%;与此同时,优良等级的面积虽

有波动,但总体的占比之和上升,由2000年的18.42%上升到2020年的39.20%。

2.2.3　生态环境质量时空变化

河北坝上地区2000-2020年期间生态环境变化情况如图4。2000-2010年生态环境质量变化中改善的面积占比为51.92%,恶化的面积占比为12.83%,恶化的区域主要集中在研究区西北部,原因之一是与2000年相比,2010年康保县中部与北部的NDVI值下降,植被覆盖度降低造成了生态环境质量的下降;2010-2020年,生态环境质量改善的面积占比为66.57%,恶化的面积占比为13.24%,恶化的区域主要在研究区东部。总体上看,2000-2020年河北坝上地区生态环境质量改善地面积较多,占研究区总面积的76.16%,主要分布在研究区西部,恶化的面积占比为8.20%。研究期间,生态环境质量改善的面积远大于恶化的面积,表明研究期间河北坝上地区的生态环境质量总体得到提升。

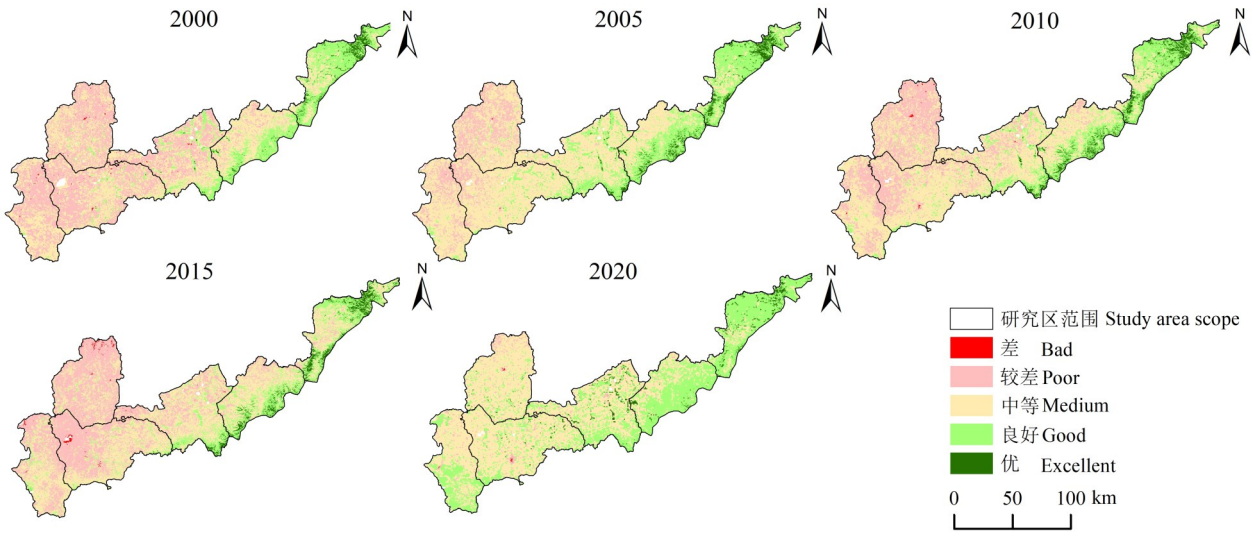

图3　2000—2020年河北坝上地区生态环境质量各等级空间分布

Fig.3　Spatial distribution of ecological and environmental quality in Bashang region of Hebei Province from 2000 to 2020

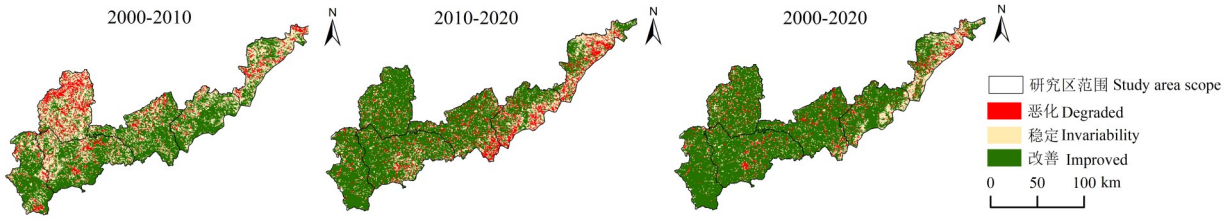

图4　2000—2020年河北坝上地区生态环境质量变化

Fig.4　Ecological and environmental quality changes in Bashang region of Hebei Province from 2000 to 2020

2.2.4　生态环境质量空间自相关分析

利用Arcgis 10.8计算出河北坝上地区生态环境质量的global Moran's Ⅰ指数,2000、2005、2010、2015和2020年分别为0.903 7、0.915 1、0.916 5、0.901 1和0.818 3,显著性和P值均通过显著性水平0.01的检验,说明研究区的生态环境质量在空间分布上具有显著的空间正相关性。2000-2020年研究区global Moran's Ⅰ指数呈现先增后减的趋势,说明河北坝上地区的生态环境质量的空间相关性先增加后减小。其中,2010年莫兰指数达到最大值,这一时期研究区的生态环境质量空间集聚度最高,但随时间增加略有下降。

LISA聚类图如图5所示,2000-2020年河北坝上地区的生态环境质量空间分布以"高-高聚集"和"低-低聚集"为主,各期聚集特征基本一致。生态环境质量低-低聚集区主要分布在研究区西部;生态环境质量高-高聚集区主要集中在研究区东部,这些地区土地覆被以林草地为主,植被覆盖度

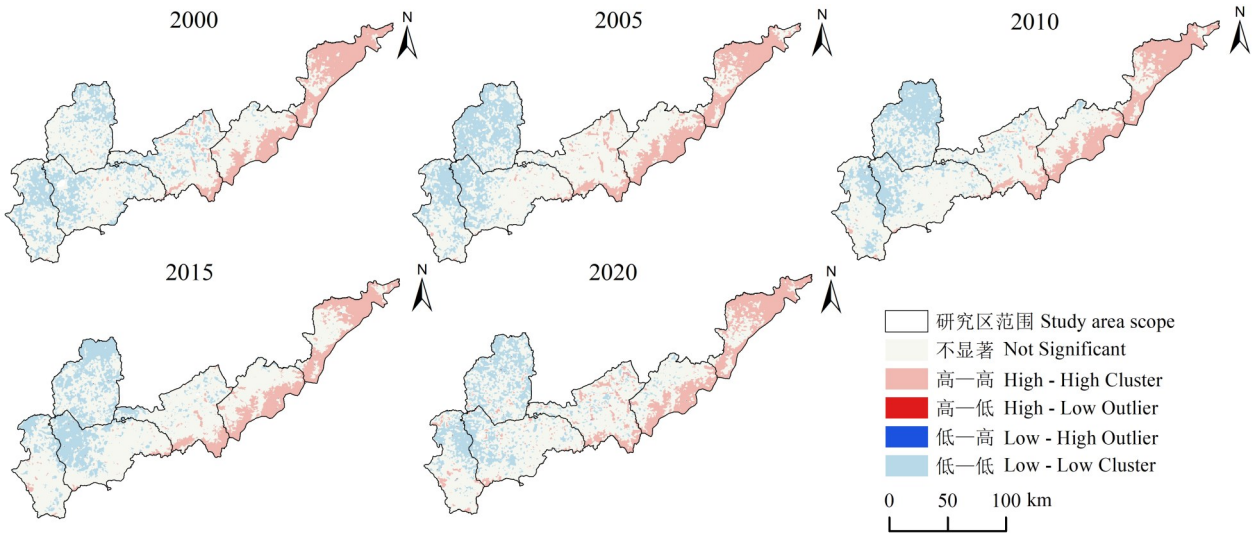

图5 2000—2020年河北坝上地区生态环境质量局部自相关LISA聚类图

Fig.5 Local autocorrelation LISA cluster map of ecological and environmental quality in Bashang region of Hebei

较高,故生态环境质量较好,同时相邻地区的生态环境也较好。

2.3 基于地理探测器的驱动因子分析

为探究自然因素与社会经济因素对生态环境质量的影响,本文由自然方面选取温度、降水、高程、坡度、坡向、距河流的距离,由社会经济方面选取人口密度、距一级道路距离、距二级道路距离、距三级道路距离、夜间灯光、距县政府距离,共12个驱动因子,利用地理探测器研究各因子对nRSEI的影响程度。

单因子探测结果如表5所示,总体来看,2000至2020年期间自然因素中的温度、降水量和坡度对生态环境质量空间差异的影响较高,社会经济因素中距一级、三级道路距离、距县政府的距离q值较高。人口密度、坡向、夜间灯光对生态环境质量空间分布的影响较小,5个时期均未超过0.1。

2000年,社会经济因素中距县政府距离、距一级道路距离和距三级道路距离是主导空间分布的主要因子,q值分别为0.413 4、0.376 2和0.375 4;自然因素中的温度q值也较大,为0.346 0;2005年,降水量对生态环境质量的解释力显著增大,其余驱动因子变化较小;2010年,各个驱动因子的强弱关系基本稳定;2015年,除降水量外,距离三级道路的距离和距离县政府的距离也同样对生态环境空间分异影响较大;2020年,研究区生态环境由降水量主导;距离县政府距离、距离一级道路、二级道路距离、温度的影响力次之;而人口密度、坡向、夜间灯光的影响力始终较小。总体看来,2000-2020年期间,相较于自然因素,社会经济因素对生态环境质量的影响力较大,但自然因素中的降水量影响力不断上升,2020年成为主导因子。

地理探测器模型不仅能够定量分析各驱动因子的影响程度,还能探究驱动因子之间的交互作用强度。由图6可以看出,驱动因子间交互作用表现为双因子增强以及非线性增加,不同因子两两组合交互作用对生态环境质量产生的影响高于任意单因子的影响力,说明研究区生态环境质量受到多方面因子的共同作用。其中2000年高程与距县政府距离交互作用值最大,为0.526 2;其次为降水量与距一级道路距离、温度与距县政府的距离、降水量与距县政府的距离,均达到0.50以上,与距县政府距离因子进行交互的组合q值普遍较高。2005年,与降水量的交互组合q值均较高,其中降水量与距一级道路的距离交互作用最强,达到0.582 9。2010年降水量与距一级道路距离的交互作用值最大,q值达到0.537 4;其次为降水量与距县政府距离,q值为0.526 1;温度与距三级道路距离、高程与距县政府距离的q值也达到了0.55以上。2015年,降水量与距一级道路的距离交互作用最强,其次为降水量与温度,第三为降水量与距河流的距离,均在0.46以上。2020年降水量与坡度的交互作用值最大,为0.353 9,同降水量交互的组合显著高于其它组合。2000-2020年各个因子交互探测结果表明,自然因素中的温度、降水量和

表5　单因子探测结果

Table 5　Results of single factor detection

	驱动因子	2000		2005		2010		2015		2020	
	Driving factor	q值 q Value	排序 Rank	q值 q Value	排序 Rank	q值 q Value	排序 Rank	q值 q Value	排序 Rank	q值 q Value	排序 Rank
自然	x1	0.346 0	4	0.285 1	5	0.305 6	4	0.240 1	5	0.197 4	5
	x2	0.122 8	7	0.471 8	1	0.257 0	5	0.420 6	1	0.311 6	1
	x3	0.132 9	6	0.142 4	8	0.156 7	7	0.159 8	7	0.111 8	7
	x4	0.185 9	5	0.238 7	6	0.229 0	6	0.196 1	6	0.170 1	6
	x5	0.002 0	12	0.003 5	12	0.003 0	12	0.008 5	10	0.000 8	12
	x6	0.116 0	8	0.163 6	7	0.165 7	8	0.124 4	8	0.110 2	8
社会经济	x7	0.046 5	9	0.043 6	10	0.030 8	10	0.006 3	11	0.026 2	10
	x8	0.376 2	2	0.290 7	4	0.326 8	3	0.256 2	4	0.223 9	4
	x9	0.037 7	10	0.043 9	9	0.043 6	9	0.014 9	9	0.056 1	9
	x10	0.375 4	3	0.454 8	2	0.394 6	1	0.343 9	2	0.251 4	2
	x11	0.002 6	11	0.005 3	11	0.007 5	11	0.006 1	12	0.018 2	11
	x12	0.413 4	1	0.363 8	3	0.372 5	2	0.268 5	3	0.240 7	3

注:x1表示温度;x2表示降水量;x3表示高程;x4表示坡度;x5表示坡向;x6表示距河流距离;x7表示人口密度;x8表示距离一级道路距离;x9表示距离二级道路距离;x10表示距离三级道路距离;x11表示夜间灯光强度;x12表示距离县政府距离。图6同

Note:x1: the temperature; x2: precipitation; x3: elevation; x4: the slope; x5: slope direction; x6: the distance from the river; x7: population density; x8: the distance from the first class road; x9: the distance from secondary roads; x10: the distance from the third grade road; x11: night light intensity; x12: distance from county government. The same represents in Fig. 6

坡度以及社会经济因素中距一级与三级道路距离、距县政府的距离对河北坝上地区生态环境质量的影响最为显著。

3　讨论

本研究通过构建新型遥感生态指数分析河北坝上地区2000-2020年生态环境质量时空变化特征并利用地理探测器模型分析生态环境质量的影响因素。2000-2020年河北坝上地区东侧靠近燕山山脉的区域的生态环境质量均优于西部区域,生态环境质量空间分布呈现东高西低的分布格局,原因之一由于坝上地区东部主要是山地,林地、草地的面积占比较高,植被覆盖度较高。研究期间河北坝上地区nRSEI均值从2000年0.471 8上升到2020年0.567 7,上升幅度达到20.33%,河北省坝上地区的生态环境质量总体上生态环境质量有所改善,其中2000-2005年生态环境质量有一定程度的改善,原因之一是2000年以后国家推行退耕还林还草、京津风沙源治理等一系列生态建设工程。气候的变化是2005-2015年生态环境质量恶化的主要原因,河北坝上地区作为典型的农牧交错区,生态环境极其脆弱,对气候变化的响应异常敏感。2005-2015年,坝上地区平均降水呈现下降趋势且年平均气温上升[46],气候变化使得区域干旱化,加速了草场退化、湖淖萎缩。除气候原因,人类活动也对生态环境造成了一定的影响,由于开垦和放牧,研究期间水域湿地和草地面积均有不同程度的下降[47-48]。近年来张家口作为首都水源涵养功能区和生态环境支撑区,加强生态建设,推进草原生态修复治理和坝上地区休耕种草工作[49],坝上地区的生态环境质量有显著的改善。

本文从自然和经济社会方面选取12个驱动因子以对生态环境质量的驱动机制进行研究,结果显示自然因素中的温度、降水量和坡度对生态环境质量空间差异的影响较大,社会经济因素中距一级与三级道路距离、距县政府的距离是2000-2020年主导河北坝上地区的主要驱动因子。但由前文可知,政策对河北坝上地区的生态建设具有显著的影响。此外,对该地区的调研发现,农户出于追求自身利益,将生态用地用于种植蔬菜等农作物,生态用地的大面积减少对生态环境会造成一定程度的损害[1]。本研究中驱动因子未考虑到对生态环境同样造成影响的政策因素以及农户行为等,今后应进一步研究政策因素以及农户行为的量化方法,并在分析驱动因子时一并考虑,使结果更加全面、准确。

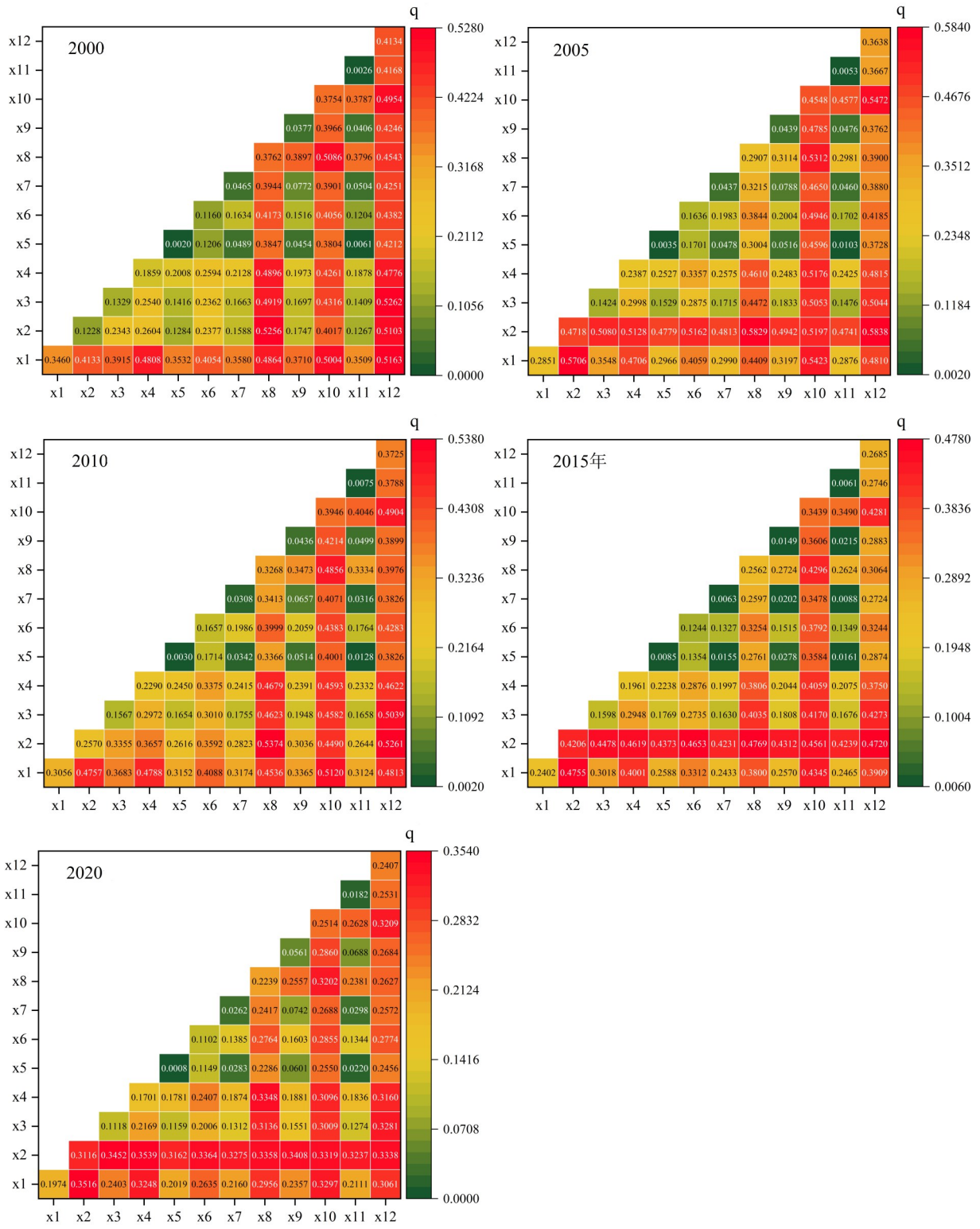

图6 交互作用探测结果

Fig.6 Interaction detection results

4 结论

2000-2020年河北坝上地区各期nRSEI均值分别为0.471 8、0.530 4、0.503 3、0.471 1和0.567 7,经历了“上升-下降-上升”的过程。总体上看,研究区东侧靠近燕山山脉的区域林、草地的

占比较高,生态环境质量较高,研究区西部区域的生态环境质量略低。研究期间河北坝上地区生态环境质量变化中以改善的面积为主,占变化总面积的76.16%,主要分布在研究区西部。研究区生态环境质量呈现出显著的空间自相关性,聚集类型主要以"高-高"和"低-低"为主。生态环境质量"低-低"聚集主要分布在研究区西部;生态环境质量"高-高"聚集主要集中在研究区东部,这些地区土地覆被以林草地为主,植被覆盖度较高,故生态环境质量较好,同时相邻地区的生态环境也较好。

2000-2020年,单因子中对生态环境质量影响较大的为自然因素中的温度、降水量和坡度以及社会经济因素中距一级与三级道路距离、距县政府的距离。研究期间,相比于自然因素,社会经济因素的解释力较高,而自然因素中降水的解释力度在上升;两两因子组合交互作用均大于单一因子的影响,2000年和2010年与距一级道路距离、距三级道路距离、距县政府距离交互的组合交互作用值较高;2005年、2015年、2020年则是与降水量交互的组合交互作用值较高。

参　考　文　献

[1]秦彦杰,武爱彬,赵艳霞,等.农牧交错带生态与生产用地时空转换及其驱动因素分析——以张家口坝上地区为例[J].干旱区研究,2023,40(5):798-807.
Qin Y J, Wu A B, Zhao Y X, et al. Analysis of the spatiotemporal conversion between ecological land and production land in the farming-pastoral ecotone and the forces driving it: a case study in the Bashang Region of Zhangjiakou [J]. Arid Zone Research, 2023, 40(5): 798-807.

[2]唐士明.北方农牧交错区不同土地利用方式对土壤团聚体和微生物群落的影响[D].北京:中国农业大学,2018.
Tang S M. Effects of land use types on soil aggregation and microbial community in northern agro-pastoral ecotone [D]. Beijing:China Agricultural University,2018.

[3]Zhang G L, Chen X, Zhou Y, et al. Aridification in a farming-pastoral ecotone of Northern China from 2 perspectives: climate and soil[J]. Journal of Environmental Management, 2022, 302 (Pt B):114070.

[4]高廷,王静爱,李睿,等.中国北方农牧交错带土地利用变化及预测分析[J].干旱区资源与环境,2011,25(10):52-57.
Gao T, Wang J A, Li R, et al. Land use change and prediction for ecotone between agriculture and animal raising in Northern China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(10): 52-57.

[5]王丽霞,史园莉,张宏伟,等.2000—2020年北方农牧交错区植被生态功能变化及驱动因子分析[J].生态环境学报,2021,30(10):1990-1998.
Wang L X, Shi Y L, Zhang H W, et al. Analysis of vegetation ecological function changes and driving factors in farming-pastoral ecotone in Northern China from 2000 to 2020 [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2021, 30(10): 1990-1998.

[6]辛晓平,丁蕾,程伟,等.北方草地及农牧交错区草地植被碳储量及其影响因素[J].中国农业科学,2020,53(13):2757-2768.
Xin X P, Ding L, Cheng W, et al. Biomass carbon storage and its effect factors in steppe and agro-pastoral ecotones in northern China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(13): 2757-2768.

[7]付镇,张志敏,张变第,等.宁夏农牧交错区植被覆盖时空变化及成因分析[J].西北林学院学报,2023,38(2):209-216.
Fu Z, Zhang Z M, Zhang B D, et al. Spatio-temporal variation and driving force analysis of fractional vegetation coverage in agro-pastoral ecotone of Ningxia [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2023, 38(2): 209-216.

[8]周磊,王璐,赵宝平,等.北方农牧交错区不同播期和刈割期对燕麦饲草产量和品质的影响[J].草地学报,2021,29(10):2355-2363.
Zhou L, Wang L, Zhao B P, et al. Effect of different sowing date and cutting time on yield and quality of forage oat in agro-pastoral ecotone of northern China[J]. Acta Agrestia Sinica, 29 (10):2355-2363.

[9]李雯,马琳峰,曹熙敏,等.播期对冀西北坝上农牧交错区青贮玉米产量和品质的影响[J].草地学报,2021,29(5):1080-1086.
Li W, Ma L F, Cao X M, et al. Effect of sowing date on yield and quality of *Zea mays* L. in Bashang agro-pastoral ecotone in Northwest Hebei Province[J]. Acta Agrestia Sinica. 2021, 29 (5): 1080-1086.

[10]唐建昭,肖登攀,柏会子.未来气候情景下农牧交错带不同灌溉水平马铃薯产量和水分利用效率[J].农业工程学报,2020,36(2):103-112.
Tang J Z, Xiao D P, Bai H Z. Yield and water use efficiency of potato at different irrigation levels in agro-pastoral ecotone under future climate change[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(2): 103-112.

[11]李刚,郑敏娜,李荫藩.饲用燕麦品种在晋北农牧交错区的生产性能和营养价值研究[J].中国农业科技导报,2021,23(12):42-53.
Li G, Zheng M N, Li Y F. Comprehensive evaluation of production performance and nutritional value of forage oat varieties in northern Shanxi Province [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2021, 23(12): 42-53.

[12]郑洋,郝润梅,吴晓光,等.典型农牧交错区土地利用变化对土壤风蚀的影响——以内蒙古四子王旗为例[J].西南农业学报,2021,34(3):575-583.
Zheng Y, Hao R M, Wu X G, et al. Effects of land use change on soil wind erosion in typical farming-pastoral ecotone: taking Siziwang banner in inner Mongolia as example [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2021, 34(3): 575-583.

[13]黄晶,刘克思,豆鹏鹏,等.农牧交错区不同撂荒年限对农田土

壤的影响[J].草地学报,2024,32(3):677-683.
Huang J, Liu K S, Dou P P, et al. Effects of different years of abandonment on cropland soil in the agro-pastoral ecotone[J]. Acta Agrestia Sinica, 2024,32(3):677-683.

[14]耿鑫,胡实,肖玉,等.基于生态系统服务价值的东北农牧交错区土地利用格局优化与评价[J].自然资源学报,2022,37(7):1799-1814.
Geng X, Hu S, Xiao Y, et al. Land use pattern optimization and evaluation based on *ESV* of agro-pastoral ecotone in Northeast China[J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(7): 1799-1814.

[15]张寒冰,高阳,崔艳智.基于风沙防治的典型农牧交错区土地利用多情景模拟[J].环境科学研究,2019,32(6):1081-1089.
Zhang H B, Gao Y, Cui Y Z. Multi-scenarios simulation of land use for reducing wind erosion in typical agro-pastoral ecotone[J]. Research of Environmental Sciences, 2019, 32(6): 1081-1089.

[16]叶亚平,刘鲁君.中国省域生态环境质量评价指标体系研究[J].环境科学研究,2000(3):33-36.
Ye Y P, Liu L J. A preliminary study on assessment indicator system of provincial eco-environmental quality in China[J]. Research of Environmental Sciences, 2000(3): 33-36.

[17]Gao M L, Li Z H, Tan Z Y, et al. Simulating the response of the surface urban heat environment to land use and land cover changes: a case study of Wuhan, China[J] Remote Sensing. 2021, 13(22):4495.

[18]Liu N J, Yang Y P, Yao L, et al. A regionalized study on the spatial-temporal changes of grassland cover in the Three-River Headwaters Region from 2000 to 2016[J]. Sustainability, 2018, 10(10), 3539.

[19]Wang J Y, Fan Y F, Yang Y, et al. Spatial-temporal evolution characteristics and driving force analysis of NDVI in the Minjiang River Basin, China, from 2001 to 2020[J]. Water. 2022 ,14(18):2923.

[20]马玉,王翔,许欣,等.大亚湾水体营养盐分布特征及其生态环境效应[J].中国环境监测,2023,39(6):110-122.
Ma Y, Wang X, Xu X, et al. Distributions characteristics of nutrients in sea water and its ecological environment effects in Daya bay[J]. Environmental Monitoring in China, 2023, 39(6):110-122.

[21]国家环境保护总局.生态环境状况评价技术规范(试行):HJ 192-2015[S].北京:中国环境科学出版社, 2015.
State Environmental Protection Administration. Technical specification for ecological environment evaluation (trial): HJ/T192—2015 [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2015.

[22]李艳翠,袁金国,刘博涵,等.滹沱河流域生态环境动态遥感评价[J].环境科学,2024,45(5):2757-2766. .
Li Y C, Yuan J G, Liu B H, et al. Ecological environment dynamical evaluation of hutuo river basin using remote sensing [J]. Environmental Science,2024,45(5):2757-2766.

[23]徐涵秋.区域生态环境变化的遥感评价指数[J].中国环境科学,2013,33(5):889-897.
Xu H Q. A remote sensing index for assessment of regional ecological changes[J]. China Environmental Science, 2013, 33(5): 889-897.

[24]武爱彬,程林,赵艳霞.快速城镇化地区生态环境质量时空格局演变及对土地利用变化响应——以廊坊市北三县为例[J].西北林学院学报,2024,39(1):169-176.
Wu A B, Cheng L, Zhao Y X. Spatial-temporal pattern evolution of eco-environmental quality and its response to land use change in rapidly urbanized areas—a case study of northern three counties in Langfang city [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2024, 39(1): 169-176.

[25]罗镕基,王宏涛,王成.基于改进遥感生态指数的甘肃省古浪县生态质量评价[J].干旱区地理,2023,46(4):539-549.
Luo R J, Wang H T, Wang C. Ecological quality evaluation of Gulang County in Gansu Province based on improved remote sensing ecological index[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(4): 539-549.

[26]代云豪,管瑶,刘孟琴,等.1990—2020年阿拉尔垦区生态环境质量动态监测与评价[J].水土保持通报,2022,42(2):122-128.
Dai Y H, Guan Y, Liu M Q, et al. Dynamic monitoring and evaluation of ecological environment quality in alar reclamation area from 1990 to 2020[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022,42(2):122-128.

[27]王剑,管瑶,贺兴宏,等.2000—2021年图木舒克市生态环境质量动态监测与评价[J].干旱区地理,2024,47(3):465-473.
Wang J, Guan Y, He X H, et al. Dynamic monitoring and evaluation of ecological environment quality in Tumshuk City from 2000 to 2021[J]. Arid Land Geography, 2024, 47(3): 465-473.

[28]刘宇,齐建伟,卢宏钟,等.青岛市生态环境变化遥感监测与分析[J].测绘通报,2020(9):60-65.
Liu Y, Qi J W, Lu H Z, et al. Monitoring and analysis of the change of ecological environment in Qingdao based on remote sensing technologies[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2020(9): 60-65.

[29]罗逸臻,黄远程,王涛.关中平原城市群生态环境质量时空变化特征及其驱动力[J].地球科学与环境学报,2023,45(6):1316-1329.
Luo Y Z, Huang Y C, Wang T. Spatial-temporal variation characteristics of ecological environment quality and their driving forces in Guanzhong Plain urban agglomeration, China [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2023,45(6): 1316-1329.

[30]吴艳霞,刘方南,陈宝童.黄河流域下游城市群生境质量时空演变及其驱动因素[J].水土保持通报,2023,43(4):396-404.
Wu Y X, Liu F N, Chen B T. Spatial and temporal evolution and drivers of habitat quality of urban agglomeration in lower Yellow River Basin [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(4): 396-404.

[31]王建,赵牡丹,李健波,等.基于MODIS时序数据的秦巴山区生态环境质量动态监测及驱动力分析[J].山地学报,2021,39(6):830-841.

Wang J, Zhao M D, Li J B, et al. Dynamic monitoring and driving forces of eco-environmental quality in the Qinba Mountains based on MODIS time-series data[J]. Mountain Research, 2021, 39(6): 830-841.

[32]田智慧,尹传鑫,王晓蕾.鄱阳湖流域生态环境动态评估及驱动因子分析[J].环境科学,2023,44(2):816-827.
Tian Z H, Yin C X, Wang X L. Dynamic monitoring and driving factors analysis of ecological environment quality in Poyang Lake basin[J]. Environmental Science, 2023, 44(2): 816-827.

[33]余慧婕,张方敏,马赫,等.基于遥感生态指数的淮河流域生态环境质量时空演化及其驱动因素分析[J/OL].环境科学,1-18[2024-04-03]. https://doi.org/10.13227/j.hjkx.202308035.
Yu H J, Zhang F M, Ma H, et al. Spatio-temporal evolution and driving factors of ecological environment quality in the Huai River Basin based on RSEI [J/OL]. Environmental Science, 1-18 [2024-04-03]. https://doi. org/10.13227/j.hjkx.202308035.

[34]赵嘉丽,李兴,孙冰.基于AWRSEI的岱海流域生态环境质量时空演变及驱动因子分析[J].环境科学,2024,45(3):1598-1614.
Zhao J L, Li X, Sun B. Spatial-temporal evolution and driving factors analysis of ecological environment quality in Daihai Basin based on AWRSEI[J]. Environmental Science, 2024, 45(3): 1598-1614.

[35]傅楷翔,贾国栋,余新晓,等.基于改进遥感生态指数的吐鲁番-哈密地区生态环境质量评价及驱动机制分析[J].生态学报,2024,44(9):3911-3923.
Fu K X, Jia G D, Yu X X, et al. Evaluation of ecological environment quality and analysis of driving mechanism in Tulufan-Hami region based on improved remote sensing ecological indices[J]. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(9): 3911-3923.

[36]张浩斌,王婉,宋妤婧,等.基于改进遥感生态指数的干旱内流区生态质量评价——以阴山北麓塔布河流域为例[J].生态学报,2024,44(2):523-543.
Zhang H B, Wang W, Song Y J, et al. Ecological index evaluation of arid inflow area based on the modified remote sensing ecological index: a case study of Tabu River Basin at the northern foot of the Yin Mountains[J]. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(2): 523-543.

[37]范德芹,邱玥,孙文彬,等.基于遥感生态指数的神府矿区生态环境评价[J].测绘通报,2021(7):23-28.
Fan D Q, Qiu Y, Sun W B, et al. Evaluating ecological environment based on remote sensing ecological index in Shenfu mining area[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2021(7):23-28.

[38]李晓雅,赵成章,曾红霞,等.党河源区土地利用变化及其生态环境效应[J].生态学杂志,2021,40(9):2904-2913.
Li X Y, Zhao C Z, Zeng H X, et al. Land use change and ecological environment effect of Danghe River source region [J]. Chinese Journal of Ecology, 2021, 40(9): 2904-2913.

[39]王苗,刘普幸,乔雪梅,等.基于RSEDI的宁夏生态环境质量时空演变及其驱动力贡献率分析[J].生态学杂志,2021,40(10):3278-3289.
Wang M, Liu P X, Qiao X M, et al. Analysis of the spatiotemporal evolution of ecological environmental quality in Ningxia and its driving force contribution based on RSEDI[J]. Chinese Journal of Ecology, 2021,40(10):3278-3289.

[40]王睿,员学锋,杨悦,等.陕西省生态环境对耕地利用生态效率的响应[J].水土保持研究,2024,31(2):422-430.
Wang R, Yuan X F, Yang Y, et al. Response of ecological environment to ecological efficiency of cultivated land use in Shaanxi Province [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(2): 422-430.

[41]王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报,2017,72(1):116-134.
Wang J F, Xu C D. Geodetector: principle and prospective [J]. Acta Geographica Sinica, 2017,72(1):116-134.

[42]Wang X, Li Y Q, Gong X W, et al. Changes of soil organic carbon stocks from the 1980s to 2018 in Northern China's agro-pastoral ecotone[J]. CATENA, 2020 ,194:104722.

[43]贾文茹,李庆,李秀明,等.2000—2018年河北坝上地区土壤风蚀模数变化[J].中国沙漠,2024,44(1):130-141.
Jia W R, Li Q, Li X M, et al. The spatial and temporal variation of soil wind erosion modulus in the Baishan region of Hebei Province from 2000 to 2018 [J]. Journal of Desert Research, 2024, 44(1): 130-141.

[44]Yang J, Huang X. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019 [J]. Earth System Science Data, 2021, 13(8):3907-3925.

[45]张立贤,任浙豪,陈斌,等.中国长时间序列逐年人造夜间灯光数据集(1984-2020)[EB/OL].(2021)[2024-04-03]. https://doi.org/10.11888/Socioeco.tpdc.271202. https://cstr.cn/18406.11.Socioeco.tpdc.271202.
Zhang L X, Ren Z H, Chen B, et al. A prolonged artificial nighttime-light dataset of China (1984-2020) [EB/OL]. (2021) [2024-04-03]. https://doi. org/10.11888/Socioeco.tpdc.271202. https://cstr.cn/18406.11.Socioeco.tpdc.271202.

[46]王彦芳,裴宏伟.1980—2015年河北坝上地区生态环境状况评价与对策研究[J].生态经济,2018,34(1):186-190,236.
Wang Y F, Pei H W. Evaluation on eco-environment quality of Bashang Region in Hebei Province from 1980 to 2015[J]. Ecological Economy, 2018, 34(1): 186-190,236.

[47]裴宏伟,刘孟竹,李雅丽,等.生态修复措施对干旱半干旱地区生态系统服务影响研究——以河北坝上地区为例[J].水土保持研究,2022,29(2):192-199,205.
Pei H W, Liu M Z, Li Y L, et al. Impact of ecological restoration measures on ecosystem services in arid and semi-arid area——a case study of the Bashang Area in Hebei Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(2): 192-19,205.

[48]刘晓,张学霞,徐新良,等.河北坝上土地利用变化对生态服务价值的影响[J].北京林业大学学报,2019,41(8):94-104.
Liu X, Zhang X X, Xu X L, et al. Impacts of land use change on ecosystem service value in Bashang Area of Hebei

Province, northern China [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2019,41(8):94-104.
[49]张家口市林业和草原局.张家口市贯彻"首都两区"战略构筑绿色生态屏障[J].河北林业,2021(3):13.
Forestry & Landscape Gardens Bureau of Zhangjiakou City. Zhangjiakou City implements the "capital two districts" strategy to build a green ecological barrier [J]. Hebei forestry, 2021(3):13.

Dynamic evaluation of ecological environment quality and analysis of influencing factors in the northern agro-pastoral ecotone: A case study of Bashang Area in Hebei Province

Wu Aibin[1], Chen Fuguo[2], Zhao Yanxia[1*], Qin Yanjie[1], Shen Huitao[1], Liu Xin[1]
(*1. Institute of Geographical Sciences/Hebei Geographic Information Development and Application Technology Innovation Center, Hebei Academy of Sciences, Shijiazhuang 050011, China; 2. College of Land Science and Spatial Planning, Hebei Geo University, Shijiazhuang 050031, China*)

Abstract: The agro-pastoral ecotone area is a typical ecologically fragile area in China. Accurate assessment of the ecological environment quality and influencing factors in the agro-pastoral ecologic area plays an important role in protecting and managing its ecosystem. Such assessments can provide valuable scientific references for building ecological civilization in the region and for achieving sustainable development. Utilizing the Google Earth Engine (GEE) platform, this study employed Landsat remote sensing images, land use data, and vegetation net primary productivity data from 2000 to 2020 to analyze the ecological characteristics of Bashang area in Hebei Province. A new Remote Sensing Ecological Index (nRSEI) was developed to evaluate the dynamic changes in ecological environment quality from 2000 to 2020, and geographic detectors were used to analyze the natural and socio-economic factors affecting these changes. The results showed that: (1) From 2000 to 2020, the mean nRSEI in Bashang area of Hebei Province followed a trend of "increase-decrease-increase", with an overall upward trend. The ecological environment quality was higher in the eastern part of the study area and slightly lower in the western part. (2) Over the 2000-2020 period, 76.16% of the study area showed improvement in ecological environment quality, mainly concentrated in the western region; Areas where ecological quality declined accounted for 8.20% of the total area, mostly in the eastern part. (3) The spatial distribution of eco-environmental quality in Bashang region showed significant spatial autocorrelation, with local clusters primarily characterized by "high-high" and "low-low" groupings. (4) From 2000 to 2020, key individual factors affecting ecological environment quality included natural factors such as temperature, precipitation, and slope, as well as socio-economic factors like proximity to primary and tertiary roads and distance from county government centers. In 2000 and 2010, the combined effect of road and government proximity was higher. In 2020, the interaction with precipitation became more significant. Although ecological environment quality in Bashang area of Hebei Province has shown recent improvements, the region remains ecologically fragile. It is essential to focus on the protection and management of the ecological environment to mitigate the impacts of climate change and human activities.

Keywords: Agro-pastoral ecotone, Ecological environment quality, New remote sensing ecological index, Geo-detector model

(编辑:郭玥微)