引文格式：郑刚. 基于遥感数据和AHP法的生态敏感性评价[J]. 地理空间信息, 2025, 23(8):82-85. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.08.016

基于遥感数据和AHP法的生态敏感性评价
——以和田地区为例

郑　刚[1]
（1. 塔里木河流域管理局，新疆 库尔勒 841000）

摘　要：为更有效地保护和管理和田地区生态系统以促进生态平衡和可持续发展，从自然因子的角度出发构建了适合该地区的生态敏感度评价指标体系，并将生态敏感度分为5个等级。通过GIS技术和AHP层次分析法，得到了各生态因子的单因子生态敏感度空间分布图，并确定了各因子的权重。综合加权叠加获得了和田地区的综合生态敏感度分布图。研究结果表明：①土地覆盖因子与植被因子对研究区生态敏感度的影响最为突出。②和田地区较低敏感度区占比最大，为56.53%；中敏感度次之，为24.95%；低敏感度区域占比7.21%；较高敏感度区域占比6.95%；高敏感度区域占比为4.36%。③高敏感度区域主要分布在昆仑山脉北缘，中敏感度区域主要分布在南部，低敏感度区域主要沿着河流两侧分布，在绿洲附近也有呈线条状分布的中敏感度区。较低敏感度区域主要分布在北部的塔克拉玛干沙漠地带。④该地区生态敏感度值在空间上存在显著的空间异质性和集聚特征。研究结果可为和田地区的可持续发展提供参考。

关键词：GIS；生态敏感性；AHP；和田地区
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）08-0082-04

Ecological Sensitivity Assessment Based on Remote Sensing Data and AHP Method: A Case Study of Hotan Region

ZHENG Gang[1]
(1. Tarim River Basin Administration, Korla 841000, China)

Abstract: To enhance the effective protection and management of ecosystem in Hotan region, promoting ecological balance and sustainable development, we constructed an ecological sensitivity assessment index system tailored to the region from the perspective of natural factors, and categorized the ecological sensitivity into five levels. We used GIS technology and the analytic hierarchy process (AHP) to obtain the single-factor spatial distribution maps for each ecological factor's sensitivity, determined the weights for each factor, and derived the comprehensive ecological sensitivity distribution map for Hotan region through weighted overlay. The findings indicate that ①land coverage and vegetation factors have the most pronounced impact on ecological sensitivity in the study area. ②The majority of Hotan region falls into the category of lower sensitivity (56.53%), followed by moderate sensitivity (24.95%), low sensitivity areas (7.21%), higher sensitivity areas (6.95%), and high sensitivity areas (4.36%). ③High sensitivity areas are mainly distributed along the northern edge of the Kunlun Mountains, while moderate sensitivity areas are prevalent in the southern part. Low sensitivity areas are primarily distributed along riversides and exhibit linear patterns of moderate sensitivity near oases. Lower sensitivity areas are concentrated in the Taklamakan Desert zone in the north. ④The ecological sensitivity values in the region exhibit significant spatial heterogeneity and clustering characteristics. The results can provide valuable insights for the sustainable development of Hotan region.

Key words: GIS, ecological sensitivity, AHP, Hotan region

生态敏感性是指生态系统对区域内自然环境变化和人类活动干扰的敏感程度，反映生态系统遭到自然或人为因素干扰时发生生态环境问题的难易程度和概率大小[1]。目前主要研究方向是多因子评价体系的构建及区域差异分析，然而鲜有研究探讨生态敏感性的空间自相关性分布[2-4]。

本研究以GIS空间分析技术为工具，结合层次分析法（AHP），构建并实施了对和田地区生态敏感性的定量评价框架。对和田地区的生态敏感性进行了评价。研究考虑了高程、坡度、坡向、NDVI、水体和土地覆盖等自然因素，采用层次分析法确定各指标权重形成综合评价。此外，基于Moran's I指数分析了生态敏感性的空间自相关性分布，可为推动区域生态治理优化与可持续发展路径的探索提供科学支撑。

作者简介：郑刚（1979—），本科，高级工程师，从事干旱区水文水资源规划、设计管理及河道生态治理工作，E-mail：1597091816@qq.com。

1　研究区概况

研究区位于新疆维吾尔自治区南部，介于77°30′~84°30′E，34°~ 38°N，占地24.74万km²。地势南高北低，地形起伏明显，最低处海拔为986 m，最高处海拔达6 986 m，属干旱半干旱地区，荒漠环境，当地降水稀少、蒸发强烈、可利用水资源匮乏为主要特点。该地区气候属于暖温带极端干旱型荒漠气候，常伴有频繁的风沙天气和强烈的日照。南部山区作为河流水源汇聚区，年平均降水量约为200 mm，而绿洲平原地区的年降水量则通常低于50 mm。因南部高大山脉阻隔，使水汽和冷空气很难到达和田地区，形成夏季炎热，冬季寒冷，降水稀少，蒸发强烈的气候特点[5]。其中山地占33.3%，沙漠戈壁占63%，绿洲仅占3.7%，且被沙漠和戈壁分割成大小不等的300多块[5]。研究区现辖七县一市，分别为皮山县、策勒县、墨玉县、和田县、洛浦县、民丰县、于田县、和田市。农业作为该地区经济的主要支柱产业。生态环境十分脆弱，生态问题主要围绕土地沙漠化、水土肥流失、土壤盐渍化、生物多样性减少等。

2　数据与方法

2.1　数据来源

本研究所用数据包括：新疆维吾尔自治区DEM数据、中国土地覆盖数据集、中国30 m年最大NDVI数据集、新疆维吾尔自治区水体数据。所有数据均使用ArcGIS10.6软件进行预处理，分辨率统一为30 m。其中借助DEM数据提取了地形相关因子，包括地势起伏（高程）、坡度变化及坡向分布等关键参数30 m年最大NDVI数据集是基于Google Earth Engine 云计算平台，通过去云去阴影得到有效观测数据，提取各像元的年最大NDVI值。土地覆盖数据集基于Landsat系列卫星数据，由武汉大学杨杰、黄昕教授发布，覆盖了1990—2020年中国土地覆盖状况。

2.2　研究方法

2.2.1　生态敏感性评价因子选取

生态敏感性是指生态系统对区域内自然环境变化和人类活动干扰的敏感程度，反映生态系统遭到自然或人为因素干扰时发生生态环境问题的难易程度和概率大小[1]。影响生态环境敏感度的因素十分复杂，难以用一个或几个指标来评价由于生态环境的高敏感性导致成因的形式多样，若将所有成因纳入生态敏感性评价指标体系，指标体系将变得非常复杂且庞大。所以在选取指标时，要兼顾指标的可获得性，并结合实际情况来制定生态敏感性评价指标体系[6]。本文结合研究区实际情况及数据的可获性与代表性最终选取海拔、坡度、坡向、NDVI、水体、土地覆盖作为生态敏感性评价因子。

2.2.2　生态敏感性评价指标体系构建

已有文献显示[7-11]，目前生态敏感性评价指标体系的构建比较灵活，可以根据研究区的现状由研究者自行构建。建立科学合理的指标体系，有助于对研究区生态敏感性进行全面的评价，提高评价的科学性和规范性。指标体系设置的原则为科学性和合理性相结合，全面性和综合性相结合，可操作性和系统性相结合，定性与定量相结合，敏感性原则[6]。

2.2.3　层次分析法

为了确保敏感性因子权重的客观性，层次分析法被广泛使用在相关的研究中，层次分析法是一种主客观相结合的因子权重大小确定方法。本文采用层次分析法来确定所选取指标的权重，在选择的众多生态因子中，各因子的影响程度不尽相同，因此根据影响程度赋予不同的权重值，影响大的因子赋予较大的权重值，影响小的因子赋予较小的权重值[8]。

计算过程使用Yaahp10.6软件依次通过层次结构模型构建对判断矩阵进行规范化处理，并提取最大特征值及相应的特征向量，用于后续权重分配。并通过一致性检验（CR <0.094 9）得到表1中的各生态因子权重。

表1　因子权重表

因子	海拔	坡度	坡向	NDVI	水体	土地覆盖
权重	0.085 9	0.055 4	0.042 5	0.335 1	0.114 6	0.366 6

2.2.4　空间自相关分析

Moran’s I指数是描述地理要素空间自相关性程度的重要统计指标。其值范围在–1~1之间，正值表示相似的值聚集，即正自相关性；负值表示相似的值分散，即负自相关性；0表示随机分布，无空间自相关性。本文利用Moran’s I指数来研究地区生态敏感性的空间自相关性。

3　结果与分析

3.1　单因子生态敏感性评价

3.1.1　海拔生态敏感性评价

和田地区海拔区间在986~6 986 m，海拔落差超过5 000 m，整体地势南高北低，垂直分层现象明显。海拔变化影响气温、气压和降水等自然条件的分布，并与植被分布密切相关。高海拔地区冰川发育，

为河流产汇流提供基础。此外海拔越高，生态系统的生物种类就越少，生态敏感性也会越高[9]。

根据表2和图1a，可以发现研究区的生态敏感度分布呈现出明显的空间异质性。超过一半以上的区域属于低生态敏感度，主要集中在北部地区。而较高生态敏感度和高生态敏感度的区域占总面积1/3以上，主要分布在靠近南部昆仑山脉的地区。此外，研究区的地势高低对海拔生态敏感度的分布也产生了显著影响，呈现出几乎与纬线平行的特点。

表2 海拔因子评价表

生态敏感性	低敏感度	较低敏感度	中敏感度	较高敏感度	高敏感度
占比/%	51.47	8.79	7.20	20.58	11.97
面积/km²	127 531.63	21 774.42	17 850.44	50 990.71	29 652.81

3.1.2 坡度生态敏感性评价

坡度通过影响径流分布和土壤稳定性从而影响生态敏感性[10]。坡度的大小是引发滑坡、泥石流和水土流失等自然灾害的决定性因素，即使在干旱地区，陡峭的地势落差也会增加这些灾害的风险。坡度还会影响地表覆盖，例如限制农业活动，从而对生态敏感性产生影响。根据对表3和图1b的分析，可以得出研究区的坡度生态敏感性以低敏感度和较低敏感度为主，占研究区总面积的73.16%。

表3 坡度因子评价表

生态敏感性	低敏感度	较低敏感度	中敏感度	较高敏感度	高敏感度
占比/%	44.50	28.66	12.22	9.70	4.92
面积/km²	110 261.94	71 030.11	30 276.99	24 031.34	12 199.62

其主要分布在北部大片地区，同时也在南部昆仑山南麓有所分布。而高敏感度区域和较高敏感度区域基本与昆仑山脉的位置重合，进一步彰显了高大山脉对于生态敏感性的影响。这些发现对于深入理解研究区的生态环境格局以及制定相应的生态保护措施具有重要的意义。

3.1.3 坡向生态敏感性评价

坡向对研究区生态敏感性的主要影响途径是日照时间，南坡、东南坡、西南坡相比其他坡向会获得更多的积温，这些坡向的植被生长的热量资源更加充足，更具竞争力。另外坡向对降水的分布也有一定影响，迎风坡降雨量大，背风坡降雨量小，降雨量的多少对农耕适宜性有较大影响[11]。

通过对图1c的分析，可以发现研究区的坡向分布比较均匀。如果仅从坡向因子来评价研究区生态敏感度，那么总体而言，高敏感度和较高敏感度的区域略微多于低敏感度和较低敏感度的区域。此外，中等敏感度区域的比例达到了20.85%。

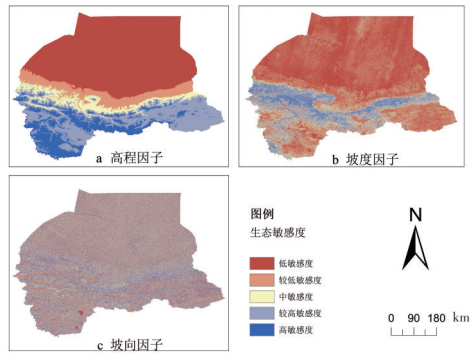


图1 地形因子生态敏感性分布图

3.1.4 NDVI生态敏感性评价

NDVI具有可反映植物生长状况以及植被覆盖变化状况与植被覆盖程度整体上呈正相关的特性。所以常常被用于定量化研究某一地区植被覆盖度和植被健康程度[12]。一个地区的NDVI值越高，则说明这个地区的生态环境更有利于植被生存，同时也从侧面印证了这个地区的生态环境更稳定，所以低NDVI值的地区的生态往往是更敏感的。

根据对表4和图2b的分析，可知研究区有63.03%的面积属于高敏感度地区，并且这些高敏感度地区分布十分广泛，包括北部沙漠地区的绝大部分区域以及南部昆仑山附近的区域。低敏感度区域仅占总面积的0.94%，主要集中在研究区内的几个较大的绿洲位置。相对而言，较低敏感度地区占比为2.30%，主要分布在和田、策勒和于田县。中敏感度区域占比5.49%，其中很大一部分分布在昆仑山脉北缘和较大绿洲边缘。这些结果表明，研究区的生态敏感度分布不均，且高敏感度地区分布范围最广。

表4 NDVI因子评价表

生态敏感性	低敏感度	较低敏感度	中敏感度	较高敏感度	高敏感度
占比/%	0.94	2.30	5.49	21.08	63.03
面积/km²	2 317.21	5 687.44	13 599.39	52 224.82	156 188.79

3.1.5 水体缓冲区生态敏感性评价

水资源对于地区生态环境的稳定至关重要，特别是在干旱区，水资源对生态系统的敏感性具有很强的调节作用。越接近水体，生态敏感性越高，而远离水体则生态敏感性越低。从水体的角度出发对生态敏感性进行评价，根据对图2b和表5的分析，研究区94.15%的区域都属于低生态敏感区，仅有0.74%的区域属于高敏感区，主要分布在研究区内大小河流的两岸。相对而言，南部高敏感地区分布多于北部。

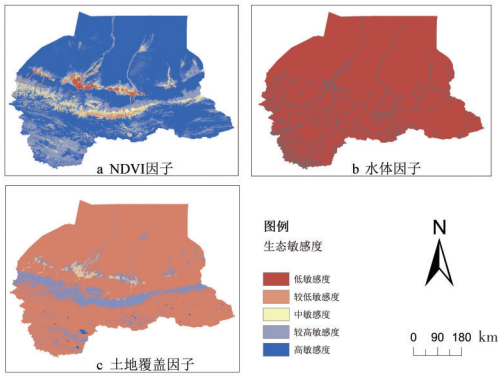


图2　自然环境因子生态敏感性分布图

表5　水体缓冲因子评价表

生态敏感性	低敏感度	较低敏感度	中敏感度	较高敏感度	高敏感度
占比/%	94.15	2.81	1.55	0.75	0.74
面积/km²	23 3301.27	6 968.95	3 851.84	1 852.01	1 825.93

3.1.6　土地覆盖生态敏感性评价

土地覆盖指地球表层的自然属性和生物物理属性[13]。作为自然资源与人类社会之间的关键联系，土地覆盖类型与生态系统抵抗干扰和适应环境变化的能力直接相关。而且不同类型的土地覆盖会导致地区的生态敏感度分布产生差异。

根据对图2c和表6的分析，研究区的生态敏感性可以按照土地覆盖类型进行评价。结果表明，86.26%的地区属于较低敏感区，1.52%的区域属于低敏感区，11.87%的区域为较高敏感度区域，而高敏感区域仅占总面积的3.4%。高敏感区域包括水体和湿地，干旱区的湿地生态系统的敏感性相对于其他生态系统更高。然而，在研究区内湿地分布较少，因此需要对这些区域进行生态保护。水体包括在高海拔地区形成的一些大小湖泊和流经研究区的河流，这些湖泊构成了研究区的湖泊生态系统，相对于其他生态系统，它们更易受到影响。

表6　土地覆盖因子评价表

生态敏感性	低敏感度	较低敏感度	中敏感度	较高敏感度	高敏感度
占比/%	1.52	86.26	0.01	11.87	0.34
面积/km²	213 750.02	3 776.33	19.63	29 412.96	841.07

3.2　综合自然生态敏感性评价

根据图3和表7可知，研究区一半区域属于较低敏感区，占比达到56.53%，中敏感区占比达到24.95%，低敏感度地区和较高敏感度地区的占比相当，分别达到7.21%和6.95%，高敏感度地区仅占4.36%，中敏感度区域占比达到24.95%。高敏感度区域主要分布在昆仑山脉北缘，中敏感度区域主要分布在南部，低敏感度区域的分布和绿洲的分布基本吻合，在绿洲附近也有呈线条状分布的中敏感度区，而分布最为广泛的较低敏感度区域，主要分布在北部的塔克拉玛干沙漠地带，在东南角落也有较多的分布。由于研究区行政区划的特殊性即大多呈南北纵向分布，导致综合生态敏感度在除洛浦县以外的县域范围内都分布的比较均匀，洛浦县主要分布低敏感度区、较低敏感度区、中敏感度区，几乎没有高敏感度区的分布。

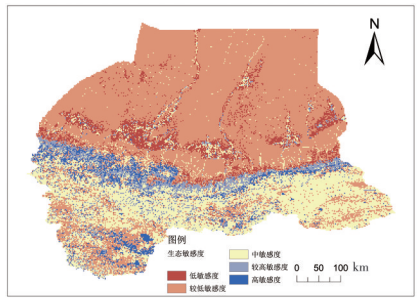


图3　综合生态敏感性分布图

表7　综合生态敏感度评价表

生态敏感性	低敏感度	较低敏感度	中敏感度	较高敏感度	高敏感度
占比/%	7.21	56.53	24.95	6.95	4.36
面积/km²	17 869.77	140 087.65	61 827.66	17 223.14	10 791.77

3.3　综合生态敏感性空间自相关分析

研究发现该地区生态敏感性值在空间上呈现出显著的正自相关性（图4）。Moran’s I指数为0.01，Z得分为19.29，P值为0，表明相邻地区的生态敏感性值往往相似，这种空间自相关性对于环境管理和保护决策至关重要。生态敏感性值呈现出集聚和异质性特征，低值分布在塔克拉玛干沙漠，高值集中在昆仑山脉及其北缘。这种分布模式表明生态特征可能受到某些共同因素的影响，这些因素可能包括气候条件、地形特征或人类活动。识别和分析这些因素可以帮助制定有效的保护策略，并确保生态敏感地区的长期可持续性。

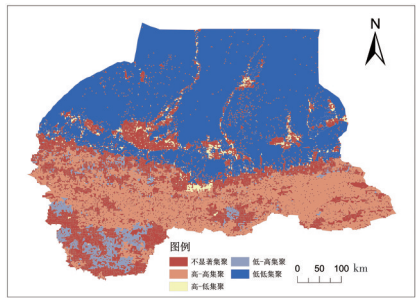


图4　综合生态敏感度局部自相关分布图

4　结　语

本文基于海拔、坡度、坡向、NDVI、水体缓冲区和土地覆盖6个自然因子，运用层次分析法（AHP）

（下转第97页）