

近30年天山北坡生态环境质量时空演变分析

肖 遥

广州大学地理科学与遥感学院, 广东 广州

收稿日期: 2024年4月8日; 录用日期: 2024年6月20日; 发布日期: 2024年6月28日

摘 要

天山北坡是我国西部经济最发达的区域之一,是我国向西开放的重要门户,属于生态环境脆弱的干旱区。探究天山北坡生态环境质量动态演化规律,对于维持区域经济发展与生态环境保护之间的平衡具有重要意义。因此,本文基于GEE平台的Landsat数据进行波段运算与主成分分析构建遥感生态指数,探究天山北坡生态环境质量时空分布特征。结果表明:1) 天山北坡生态环境质量具有明显的时空分异特征。时间尺度上,1990~2020年间研究区生态环境质量呈现出“下降-上升-下降”的波动变化,总体呈现略微下降的趋势。在空间尺度上,天山北坡生态环境质量以中等与较差为主,生态环境质量差和较差的区域主要集中在研究区的东部和北部。生态环境质量为中等及优、良的区域主要集中在研究区中部和南部。2) 生态环境质量的变化与等级转移有关,以中等及以下的等级往更下一级的转移为主。1990~2000年间,生态环境质量等级发生恶化的区域大于改善的区域,这一时期生态环境质量快速变差,与这一时期生态环境质量等级较差转为差、中等转为较差、良转为中等为主。2000~2010年间,生态环境质量等级发生改善的区域明显扩张,而恶化的区域明显萎缩,这一时期生态环境质量在变好,与这一时期生态环境质量等级较差转中等、较差转良、中等转良有关。2010~2020年间,生态环境质量等级发生改善的区域明显萎缩,而恶化的区域明显扩张,这一时期的生态环境质量在变差,与这一时期生态环境质量等级较差转为差、中等转为较差有关。

关键词

天山北坡, 生态环境质量, 时空演化

Analysis of the Spatial and Temporal Evolution of the Ecological Environment Quality on the Northern Slope of Tianshan Mountain in the Last 30 Years

Yao Xiao

School of Geography and Remote Sensing, Guangzhou University, Guangzhou Guangdong

Abstract

The northern slope of Tianshan Mountain is one of the most economically developed regions in the west of China, an important gateway for China's opening to the west, and belongs to the arid region with a fragile ecological environment. Exploring the dynamic evolution law of ecological environment quality on the northern slope of Tianshan Mountain is of great significance to maintaining the balance between regional economic development and ecological environment protection. Therefore, this paper constructs a remote sensing ecological index based on Landsat data of the GEE platform by wave operation and principal component analysis to explore the spatial and temporal distribution characteristics of ecological environment quality on the northern slope of Tianshan Mountain. The results show that 1) the ecological environment quality of the northern slope of Tianshan Mountain has obvious spatio-temporal differentiation characteristics. On the time scale, the ecological environment quality in the study area showed a fluctuation of "decreasing-rising-decreasing" between 1990 and 2020, with an overall slightly decreasing trend. On the spatial scale, the ecological environment quality of the northern slope of Tianshan Mountain is mainly moderate and poor, and the areas with poor and poor ecological environment quality are mainly concentrated in the east and north of the study area. The areas with moderate, excellent and good ecological quality are mainly concentrated in the central and southern parts of the study area. 2) Changes in the quality of the ecological environment are related to the transfer of grades, with the grades of medium and below shifting to the lower grades. Between 1990 and 2000, the areas with deteriorating ecological quality were larger than those with improving ecological quality, and the rapid deterioration of ecological quality in this period was mainly related to the shift of ecological quality grades from poor to worse, medium to poor, and good to medium; During the period from 2000 to 2010, the areas with improved ecological environment quality significantly expanded, while the areas with deteriorating quality significantly declined, indicating an overall improvement in the ecological environment. This improvement is mainly attributed to the transition of ecological environment quality from poor to medium, from poor to good, and from medium to good during this period. Between 2010 and 2020, the areas with improved ecological environment quality significantly shrank, while the areas with deteriorating quality expanded notably, indicating a decline in the overall ecological environment quality during this period. This deterioration is mainly associated with the transition of ecological environment quality from poor to worse and from medium to poor.

Keywords

Northern Slope of Tianshan Mountain, Ecological Environment Quality, Spatial and Temporal Evolution

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

天山北坡地处亚欧大陆腹地，位于我国西北地区，是我国西部经济最发达的地区，同时也是我国西部的重要生态屏障。天山北坡属于典型的山地-绿洲-荒漠复合生态系统，生态环境十分脆弱，一旦破坏生态恢复的难度极大。随着近30年社会经济的快速发展，天山北坡面临着许多生态问题[1]。土地利用的改变[2]、植被覆盖的变化[3]、土地盐碱化[4]、地下水下降[5]等问题日益凸显，生态环境质量遭受到了

影响,全面、客观评价天山北坡生态环境质量就显得至关重要。

在现有研究中生态环境质量评价方法有两种,单一因子评价被广泛使用,如用 NDVI 反映区域植被分布特征[6]、用热环境指数反映区域地表温度分布特征[7]等,这些指标主要用于刻画生态环境某一方面的特征,而无法刻画区域的综合生态环境状态;另一种为多因子评价,大多通过不同层次指标,人为确定权重,具有代表性的是生态环境状态指数(ED),生态环境部根据生物丰度指数、植被覆盖指数、水网密度指数、土地退化指数和环境质量指数所构建。遥感生态指数(Risk-Screening Environmental Indicators, RSEI)是一种使用遥感影像数据,从绿度、湿度、热度和干度等角度全面反映区域生态环境状况的指标[8]。通过 NDVI 来代表绿度指标,地表温度 LST 代表热度,建筑指数 IBI 和裸土指数 SI 代表干度,植被和土壤的湿度。通过主成分变换来确定不同指标的权重,避免了人为因素的干扰,结果更为客观可靠[8]。在干旱地区的生态环境质量评价中也得到了应用。蒋超亮等[9],对古尔班通古特沙漠的生态环境时空格局进行了评价,研究结果显示,古尔班通古特沙漠的生态环境质量总体水平较低,位置偏远、人为干扰程度低的区域生态环境更趋于稳定,而资源开发、工程建设等高强度的人类活动对沙漠植物造成了严重的干扰和破坏,导致部分区域出现生态退化的现象。Zheng [10]研究了露天煤矿区域的生态环境质量,结果显示生态环境质量主要受气候变化影响,受采矿影响较小,种植植被可以促进矿区生态环境的治理和修复。Wang [11]使用 MODIS 数据在 GEE 平台上生成遥感生态指数(RSEI),分析了研究过去二十年新疆的生态质量和环境因素之间的关系,以及生态质量的空间特征和变化趋势。然而,现有对于天山北坡生态环境质量的关注相对较少,长时间大范围的研究也相对匮乏。

因此,基于 Google Earth Engine,使用 Landsat5 和 8 数据,综合绿度、干度、热度、湿度四个维度,以主成分分析生成 1990 年、2000 年、2010 年、2020 年 RSEI 指标,探讨近三十年天山北坡遥感生态环境时空演变及空间转移特征,探究天山北坡生态环境质量动态演化规律,对于维持区域经济发展与生态环境保护之间的平衡具有重要意义。

2. 数据与方法

2.1. 研究区概况

本文的天山北坡指的是我国境内东天山、中天山北麓的呈条带状洪-冲积扇的大片区域,位于亚欧大陆腹地 and 我国西北地区、新疆的中部;塔克拉玛干沙漠以北,准噶尔盆地以南;包括乌鲁木齐市、昌吉回族自治区、博尔塔拉蒙古自治州、石河子市、沙湾市、乌苏市、奎屯市、克拉玛依市等城市。地理坐标介于 42°45'N~46°13'N、79°53'E~91°32'E 之间,总面积约为 14.9 万平方千米。地势从南到北逐渐降低,起伏明显,河流切割剧烈,地质构造复杂。在气候上为温带大陆性气候,干旱少雨,气温日较差和年较差均很大,日照时间长。年均降水量在 150.1~360.8 mm 之间,主要集中在 5、6 两月[12]。天山北坡作为我国重要的能源战略基地,克拉玛依油田和准东油田蕴含着丰富的石油、煤炭资源,年均产千万吨以上;天然气、风能和太阳能极为充沛;铁、铜、金、钨、石灰岩、花岗岩、石膏等金属、非金属矿产资源也分布在不同的区域[13]。

2.2. 数据来源及其预处理

本文使用的遥感影像数据 Landsat 5 TM、Landsat8 OLI 遥感影像均来源于 GEE 平台,数据集均为多波段地表反射率数据集,所获取影像的成像时间为 1992、1998、2010、2020 年全年影像(由于 1990 年和 2000 年遥感影像出现大量缺失,因此选择相近年份数据代替)。由于 GEE 平台中的 Landsat8 数据集已经进行过大气校正,所以预处理过程主要包括影像的质量控制(去云处理)、影像镶嵌、水体积雪掩膜处理等操作[14]。

2.3. 研究方法

本文选取绿度、干度、热度、湿度,作为监测天山北坡生态环境质量的遥感指标。遥感生态指数选

取了常用的 NDVI、地表温度等可通过遥感反演得到的指标，避免了 EI 指数数据难获取的问题。采用主成分分析法对 4 个指标进行耦合，根据各个指标对第一主成分的贡献率来确定其权重，避免了人为确定权重值而导致的偏差，因而使得 RESI 指标更加具有客观性。

1) 绿度指标

归一化植被指数(NDVI)常用于表示植被生长状况，是一种用于表示区域植被分布的重要参数[6]。选用 NDVI 代表绿度指标，表达式如下：

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (1)$$

式中： ρ_{nir} 表示 Landsat 数据的近红外波段光谱反射率， ρ_{red} 表示 Landsat 数据的红外波段光谱反射率。

2) 湿度指标

湿度是反映生态系统状况的一个重要参数，主要反映区域地表湿度状态，包括植被和土壤的湿度[15]。通过缨帽变换的湿度分量来表达湿度指标，本研究使用 Landsat5 TM 和 Landsat8 OLI 数据，具体表达式如下：

$$Wet_{Lc8} = 0.315\rho_{blue} + 0.2021\rho_{green} + 0.3012\rho_{red} + 0.1594\rho_{nir} - 0.6806\rho_{swir1} - 0.6019\rho_{swir2} \quad (2)$$

$$Wet_{Lc5} = 0.1511\rho_{blue} + 0.1973\rho_{green} + 0.3283\rho_{red} + 0.3407\rho_{nir} - 0.7117\rho_{swir1} - 0.4559\rho_{swir2} \quad (3)$$

式中： ρ_{blue} 、 ρ_{green} 、 ρ_{red} 、 ρ_{nir} 、 ρ_{swir1} 、 ρ_{swir2} 分别代表 Landsat5 和 8 的蓝波段、绿波段、红波段、近红外波段、短红外波段 1、短红外波段 2 的光谱反射率。

3) 干度指标

土壤干化及建设用地的扩张常常会给生态环境带来负面影响，因此同时使用裸土指数(SI)和建筑指数(ABI)合成干度指标(NDBSI) [16]，具体表达式如下：

$$NDBSI = \frac{SI + ABI}{2} \quad (4)$$

$$SI = \frac{(\rho_{swir1} + \rho_{red}) - (\rho_{nir} + \rho_{blue})}{(\rho_{swir1} + \rho_{red}) + (\rho_{nir} + \rho_{blue})} \quad (5)$$

$$ABI = \frac{\frac{2\rho_{swir1}}{\rho_{swir1} + \rho_{nir}} - \left(\frac{\rho_{nir}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} + \frac{\rho_{green}}{\rho_{green} + \rho_{swir1}} \right)}{\frac{2\rho_{swir1}}{\rho_{swir1} + \rho_{nir}} + \left(\frac{\rho_{nir}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} + \frac{\rho_{green}}{\rho_{green} + \rho_{swir1}} \right)} \quad (6)$$

式中： ρ_{blue} 、 ρ_{green} 、 ρ_{red} 、 ρ_{nir} 、 ρ_{swir1} 分别代表 Landsat8 OLI 的蓝波段、绿波段、红波段、近红外波段、短红外波段 1 的光谱反射率。

4) 热度指标

地表温度是表征地表和大气之间物质交换和能量交换的重要参数[17]，因此用地表温度代表热度指标。具体表达式如下：

$$LST = \frac{T_b}{1 + \frac{\lambda T_b}{\rho} \varepsilon} - 273.15 \quad (7)$$

式中， λ 指的是 Landsat 热红外波长， $\rho = 1.438 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$ ， ε 为发射率， T_b 为亮式温度。

地表温度是表征地表和大气之间物质交换和能量交换的重要参数，因此用地表温度代表

5) 归一化处理

将 5 个指标分别归一化处理, 将指标值范围统一在 0-1 之间, 使其具有可比性。归一化处理公式如下:

$$NI_i = \frac{I_i - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \quad (8)$$

式中: NI_i 指的是归一化处理生成的指标值, I_i 为该指标在像元 i 处的值; I_{\max} 指的是该指标的最大值, I_{\min} 是该指标的最小值。

6) 主成分分析构建 RSEI

使用绿度、干度、热度、湿度构建 RSEI, 构建方法如下:

$$RSEI = PCA(f(NDVI, WET, NDBSI, LST)) \quad (9)$$

式中, NDVI、WET、NDBSI、LST、SI 分别代表绿度、干度、热度、湿度指标分量。采用主成分分析法对各项指标进行耦合, 其计算流程相对简单, 且没有主观误差的干扰, 具有一定的优势, 使得 RSEI 指标更加客观可靠。

采用以下公式计算初始的 RSEI₀ 数值。

$$RSEI_0 = 1 - PCA(f(NDVI, WET, NDBSI, LST)) \quad (10)$$

式中: PCA 为主成分分析, NDVI、WET、NDBSI、LST 分别代表绿度、湿度、干度、热度。

并对 RSEI₀ 进行标准化处理, 得到最终的 RSEI 值。

$$RSEI = \frac{RSEI_0 - RSEI_{0\min}}{RSEI_{0\max} - RSEI_{0\min}} \quad (11)$$

式中: 分别表示计算得到的 RSEI₀ 最大值和最小值, RSEI 为最终的遥感生态指数。

3. 结果分析

3.1. 主成分分析结果

1990 年、2000 年、2010 年、2020 年天山北坡 RSEI 特征值与特征值贡献率如表 1 所示, 可以看出, 1990 年、2000 年、2010 年、2020 年 RSEI 指标第一主成分(PC1)和第二主成分(PC2)特征值贡献度之和超过了 85%。1990 年、2000 年、2010 年、2020 年天山北坡 RSEI 第一主成分贡献率分别为 60.59%、61.18%、75.91%、80.62%, 第一主成分涵盖了 4 个指标超过了 60% 的信息; 说明使用绿度、湿度、干度、热度这 4 个指标构建天山北坡 RSEI 是可行的。

Table 1. Results of principal component analysis (PCA)

表 1. 主成分分析结果

年份	指标	第一主成分	第二主成分	第三主成分	第四主成分
1990	特征值	0.0601	0.0243	0.0107	0.0042
	贡献率%	60.59	24.46	10.74	4.21
2000	特征值	0.0628	0.0223	0.0136	0.0039
	贡献率%	61.18	21.73	13.27	3.82
2010	特征值	0.0827	0.0137	0.0107	0.0018
	贡献率%	75.91	12.56	9.87	1.66
2020	特征值	0.0878	0.0138	0.0064	0.0009
	贡献率%	80.62	12.7	5.83	0.84

3.2. 天山北坡生态环境质量等级时空演变特征

3.2.1. 天山北坡生态环境质量等级时间演变

1990~2020 年间天山北坡生态环境质量呈现出“下降 - 上升 - 下降”的波动变化, 总体呈现略微下降的趋势(表 2)。天山北坡 RSEI 均值从 1990 年的 0.418 下降至 2020 年的 0.409, 下降趋势平均为 0.003/a, 在这 30 年间下降率为 2.25%。2010 年天山北坡 RSEI 均值出现峰值(0.4202), 最低值出现在 2000 年(0.3979)。

Table 2. Mean RSEI values for the northern slopes of the Tianshan Mountains, 1990~2020

表 2. 1990~2020 年天山北坡 RSEI 均值

年份	1990	2000	2010	2020
RSEI 值	0.4182	0.3979	0.4202	0.4091

图 1 反映了 1990~2020 年间各 RSEI 各等级面积占比。1990~2020 年间天山北坡生态环境质量以中等与较差为主, 面积占比之和均超过 70%。1990~2020 年间等级为差的面积整体呈现增长的趋势, 具体表现为“略微增加 - 减少 - 增加”的波动变化, 面积占比增加了 7.30%。1990~2020 年间等级为较差的总面积表现为增长的趋势, 面积占比增加了 5.33%。

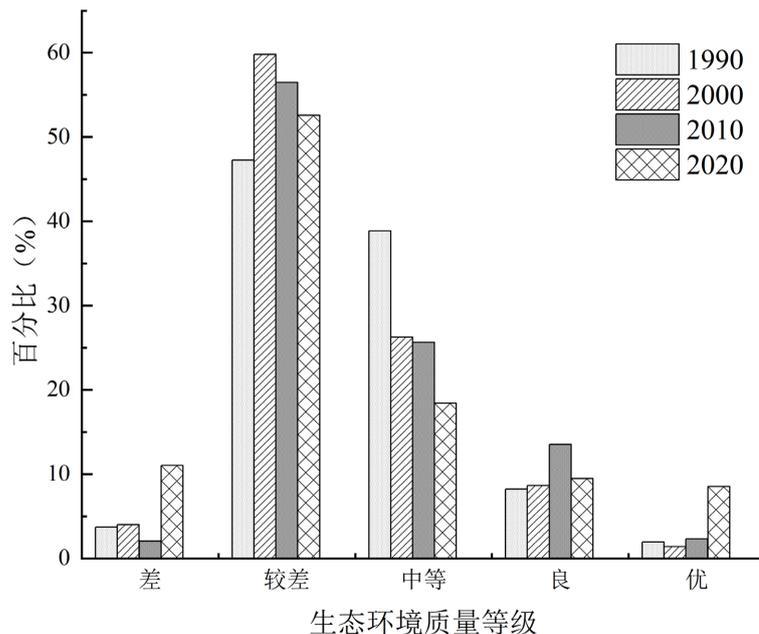


Figure 1. Percentage of each RSEI class on the north slope of Tianshan Mountain during 1990~2020

图 1. 1990~2020 年间天山北坡各 RSEI 等级占比

3.2.2. 天山北坡生态环境质量等级空间演变

参考以往研究, 将研究区 RSEI 值按照相等间隔划分为五个等级, 分别为: RSEI 值为 0~0.2, 生态环境质量为差(I); RSEI 值为 0.2~0.4, 生态环境质量为较差(II); RSEI 值为 0.4~0.6, 生态环境质量为中等(III); RSEI 值为 0.6~0.8, 生态环境质量为良(IV); RSEI 值为 0.8~1, 生态环境质量为优(V)。

图 2 反映了 1990~2020 年天山北坡 RSEI 值不同等级空间分布。从总体上来看, 不同年份的生态环境质量空间分布表现出一定的规律性。生态环境质量差和较差的区域主要集中在研究区的东部和北部, 在山前地带生态环境质量差和较差的区域与生态环境质量中等及以上的区域相间分布。生态环境质量为

中等及优、良的区域主要集中在研究区中部和南部，并以西北-东南走向的两个条带状区域贯穿天山北坡东西。中部生态环境质量中等及以上的区域以条带贯穿阜康市的南部、乌鲁木齐市中部、昌吉市中部、呼图壁县中部、玛纳斯县中部及北部、沙湾县中北部、乌苏市东北部以及奎屯市、石河子市、五家渠市大部分区域。南缘的生态环境质量中等及以上区域沿着天山北部山体分布。

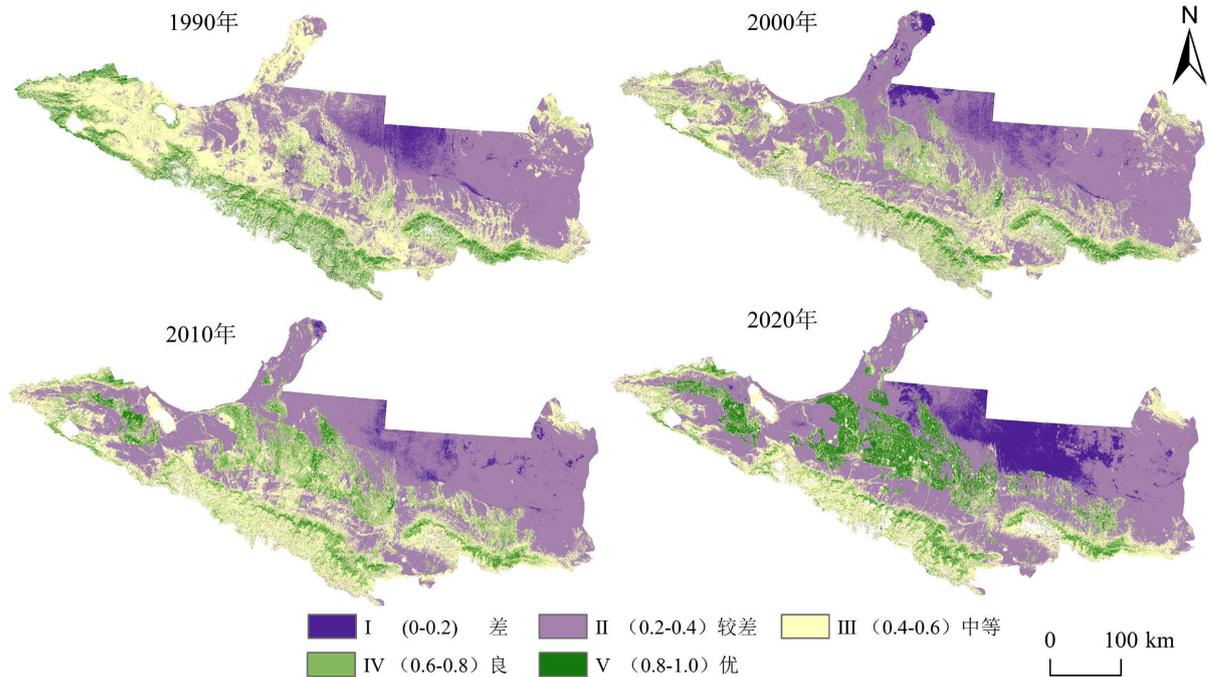


Figure 2. Distribution of ecological environment quality levels on the northern slopes of the Tianshan Mountains, 1990~2020

图 2. 1990~2020 年天山北坡生态环境质量等级分布

得到 1990~2020 年生态环境质量等级空间分布变化图(图 3)，其中改善区为生态环境质量等级提高的区域，稳定区为生态环境质量等级不变的区域，恶化区为生态环境质量退化的区域，并统计各阶段生态环境质量等级变化的面积及其所占的比重(表 3)。

天山北坡生态环境质量等级变化情况以不变为主，生态环境质量等级发生改善区域与恶化区域的比例在不断的转换，天山北坡生态环境质量也在发生演变。1990~2000 年间，天山北坡全域 63.07% 的生态环境质量等级未发生改变；生态环境质量等级发生改善的区域占到总面积的 11.74%；风险等级下降的区域占到 25.18%。生态环境质量等级不变的区域比例最大，生态环境质量等级发生恶化的区域大于改善的区域，恶化的面积比改善的面积多约 13.44%，可见这一时期生态环境质量快速变差。生态环境质量发生恶化的区域主要集中在研究区的西部，在东部与南部也有零星错落分布。生态环境质量改善的区域主要分布在研究区的中部，以条带状集中分布。

2000~2010 年间，可以观察到这一时期生态环境质量等级发生改善的区域明显扩张，而恶化的区域明显萎缩，天山北坡全域 68.02% 的生态环境质量等级未发生改变；生态环境质量等级发生改善的区域占到总面积的 20.95%；等级下降的区域占到 11.03%。生态环境质量等级不变的区域比例最大，改善的面积比恶化的面积多约 9.92%，可见这一时期生态环境质量在变好。生态环境质量发生改善的区域主要集中在研究区的中部和南部。生态环境质量恶化的区域主要集中在研究区的西部以及东南部。

2010~2020 年间，可以观察到这一时期生态环境质量等级发生改善的区域明显萎缩，而恶化的区域明

显扩张。天山北坡全域 66.18% 的生态环境质量等级未发生改变；生态环境质量等级发生改善的区域占到总面积的 12.81%；风险等级下降的区域占到 21.01%。生态环境质量等级不变的区域比例最大，生态环境质量等级发生恶化的区域大于改善的区域，恶化的面积比改善的面积多约 8.20%，可见这一时期的生态环境质量在变差。生态环境质量发生恶化的区域主要集中在研究区中南和中北区域。生态环境质量改善的区域主要分布在中部，以条带状集中分布。可见，天山北坡生态环境质量的演变具有一定的区域性与阶段性。

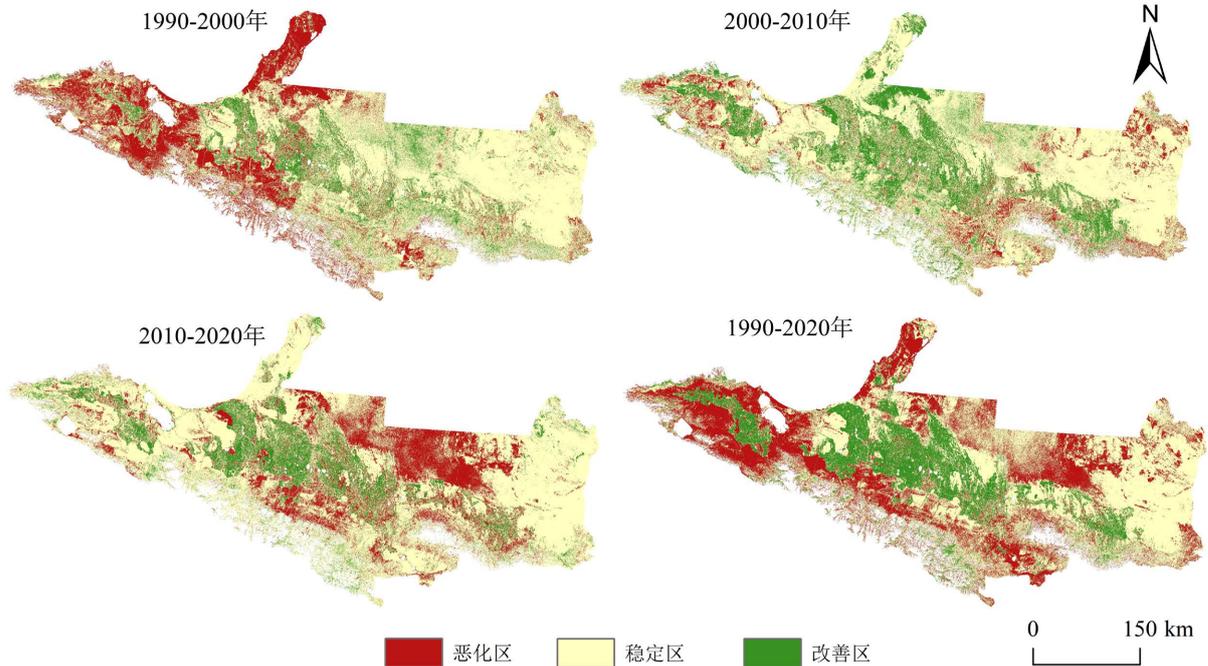


Figure 3. Spatial distribution of changes in ecological environment quality level on the north slope of Tianshan Mountain, 1990~2020

图 3. 1990~2020 年天山北坡生态环境质量等级变化的空间分布

Table 3. Statistics on the area of changes in the ecological environment quality level of the northern slopes of the Tianshan Mountains from 1990 to 2020

表 3. 1990~2020 年天山北坡生态环境质量等级变化面积统计表

年份	统计	改善区	稳定区	恶化区
1990~2000 年	面积(km ²)	15716.23	84397.43	33698.86
	比例(%)	11.74	63.07	25.18
2000~2010 年	面积(km ²)	28031.30	91022.83	14757.26
	比例(%)	20.95	68.02	11.03
2010~2020 年	面积(km ²)	17144.60	88555.43	28111.36
	比例(%)	12.81	66.18	21.01
1990~2020 年	面积(km ²)	23246.51	66154.40	44410.47
	比例(%)	17.37	49.44	33.19

3.2.3. 天山北坡生态环境质量等级空间转移

天山北坡生态环境质量的变化主要通过不同生态环境质量等级之间的相互转换完成。本小节通过构建生态环境质量转移矩阵，分析 1990~2020 年不同阶段天山北坡生态环境质量等级转移情况(图 4)。

从整体上看,天山北坡生态环境质量等级转移主要发生在相邻生态环境质量等级之间,跨等级的转换相对较少。研究区内生态环境质量等级转换以差与较差、较差与中等、中等与良,良与优的相互转化为主要特征。从前文可知,天山北坡 1990~2020 年呈现出“下降-上升-下降”的波动变化,总体呈现略微下降的趋势。从不同时间段来看,1990~2000 年生态环境质量下降的原因主要是生态环境质量等级较差转为差(2717.91 km^2)、中等转为较差(22486.47 km^2)、良转为中等(5683.3 km^2)。2000~2010 年生态环境质量变好的原因主要是差转为较差(3875.54 km^2)、较差转中等(11292.25 km^2)、较差转良(3734.92 km^2)。2010~2020 年生态环境质量下降的原因主要是生态环境质量等级较差转为差(12402.36 km^2)、中等转为较差(10329 km^2)、良转为中等(3358.92 km^2)。1990~2020 年生态环境质量下降的原因主要是由于生态环境质量等级较差转为差(10036.89 km^2)、中等转为较差(25392.89 km^2)、良转为中等(5438.13 km^2)。

总体而言,1990~2000 年天山北坡生态环境质量变化主要与以中等及以下的等级往更下一级的转移有关,生态环境质量发生改善的时期由较差转中等贡献最大,生态环境质量发生恶化时期以较差转差的贡献最大。然而,中等以上较高的生态环境质量等级相对稳定,发生转换的面积相对较少。说明天山北坡生态环境十分脆弱,中等及以下的区域生态环境质量极易往更下一级发生转换,因此需要提高对生态环境质量等级为中等、较差和差的区域的保护和关注。

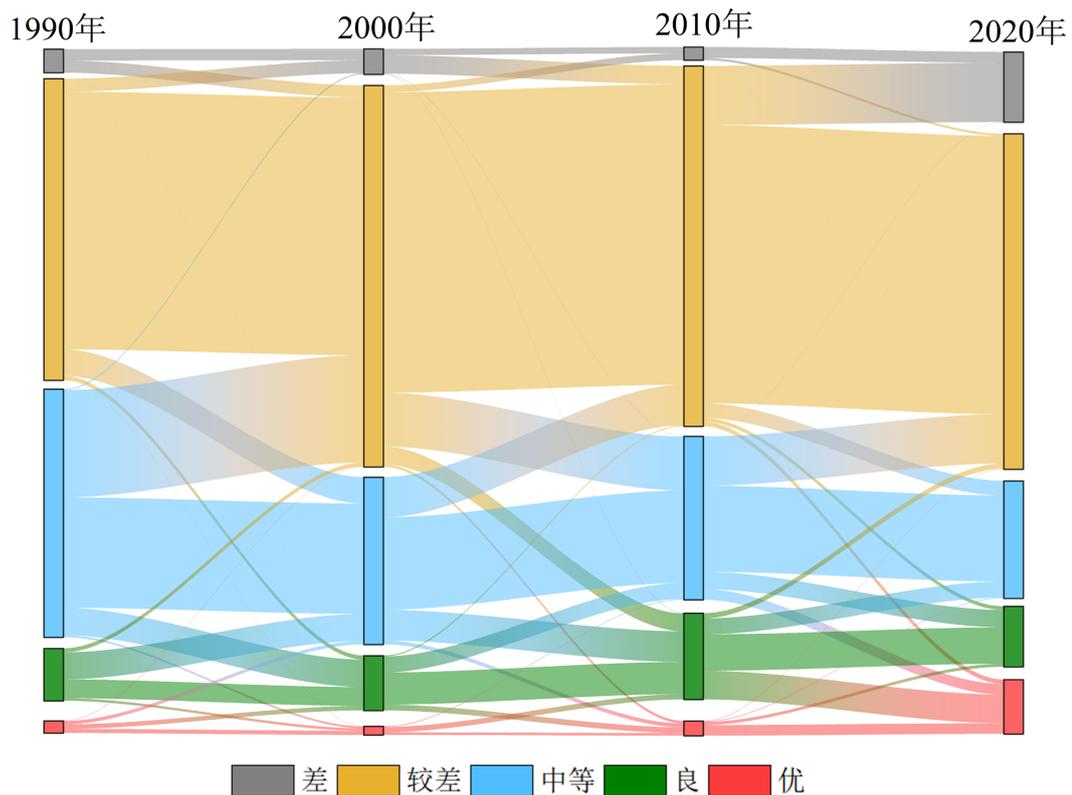


Figure 4. Sankey diagram of transfer of ecological environment quality level in different periods on the north slope of Tianshan Mountain, 1990~2020

图 4. 1990~2020 年天山北坡不同时期生态环境质量等级转移桑基图

4. 讨论与结论

4.1. 结论

本文基于 GEE 平台,以 1990、2000、2010、2020 年天山北坡 Landsat5 和 8 数据为基础,通过波段

运算、主成分分析得到研究区生态环境质量空间分布,分析了研究区生态环境质量时空演变特征。得到了以下结论:

在时间尺度上,1990~2020年间研究区生态环境质量呈现出“下降-上升-下降”的波动变化,总体呈现略微下降的趋势。在空间尺度上,天山北坡生态环境质量以中等与较差为主,生态环境质量差和较差的区域主要集中在研究区的东部和北部,在山前地带生态环境质量差和较差的区域与生态环境质量中等及以上的区域相间分布。生态环境质量为中等及优、良的区域主要集中在研究区中部和南部,并以西北-东南走向的两个条带状区域贯穿天山北坡东西。

1990~2000年间,生态环境质量等级发生恶化的区域大于改善的区域,这一时期生态环境质量快速变差,与这一时期生态环境质量等级较差转为差、中等转为较差、良转为中等有关。2000~2010年间,生态环境质量等级发生改善的区域明显扩张,而恶化的区域明显萎缩,这一时期生态环境质量在变好,与这一时期生态环境质量等级较差转中等、较差转良、中等转良有关。2010~2020年间,生态环境质量等级发生改善的区域明显萎缩,而恶化的区域明显扩张,这一时期的生态环境质量在变差,与这一时期生态环境质量等级较差转为差、中等转为较差有关。

4.2. 讨论

1990~2020年间天山北坡生态环境质量总体呈现略微下降的趋势。与Yan等[18]研究结果不一致,主要由于研究的时间尺度、指标选取导致。Yan等[18]研究时间范围为2000~2019年,天山北坡生态环境质量呈现上升趋势,本研究在该阶段变化趋势基本一致。天山北坡生态环境质量的略微下降可能与近30年间经济快速发展阶段城市化、资源过渡开发、过渡放牧、大型工程项目建设等因素有关。

天山北坡生态环境质量差和较差的区域主要集中在研究区的东部和北部,生态环境质量为中等及优、良的区域主要集中在研究区中部和南部,并以西北-东南走向的两个条带状区域贯穿天山北坡东西。可能由于天山北坡北部位于古尔班通古特沙漠南缘,裸土广布,以风沙地貌为主,地表温度高;水源稀少,蒸发强烈,河流地表水难以到达,沿线工业矿业用水需求大,土壤含水量低,地表植被覆被分布稀疏,不利于植被生长。而天山北部山地、山前及盆地边缘汇集了大量的降水,以内陆河流地表水与地下水的形式向平原区聚集,为植被生长提供大量水源,土壤含水量也相对较高。

相较于单一指数,RSEI综合了四个非常有代表性且与人类密切相关的维度,可以全面描述区域的生态环境质量。此外,通过主成分分析确定指标权重,而非人为确定权重,结果更为客观。但是天山北坡面临荒漠化、盐碱化等生态问题、未来可以考虑加入沙化指标、盐度指标、土地退化指标等维度,构建更适合干旱区的生态环境质量指标体系,以更科学细致的描述天山北坡地表生态环境。

参考文献

- [1] 贺新萍. 天山北坡城市群土地生态安全评价研究[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2022.
- [2] 孙晨. 天山北坡绿洲土地利用格局演变及其生态脆弱性评价[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2021.
- [3] 郝鑫怡, 张喆, 郑浩, 等. 天山北坡经济带植被覆盖度动态变化研究[J]. 中国环境科学, 2024, 44(2): 1020-1031.
- [4] 魏婷婷, 马延东, 郑飞敏. 新疆土壤盐碱化现状及其综合治理对策[J]. 安徽农学通报, 2020, 26(10): 107-110.
- [5] 王宗侠, 刘苏峡. 1990-2020年天山北坡地下水储量估算及其时空演变规律[J]. 地理学报, 2023, 78(7): 1744-1763.
- [6] 杜加强, 阿哈提贾尔恒, 赵晨曦, 等. 1982-2012年新疆植被NDVI的动态变化及其对气候变化和人类活动的响应[J]. 应用生态学报, 2015, 26(12): 3567-3578.
- [7] 孙灏, 马立茹, 蔡创创, 等. 干旱区地表温度和热岛效应演变研究——以宁夏沿黄城市带为例[J]. 干旱区地理, 2020, 43(3): 694-705.
- [8] 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.

-
- [9] 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.
- [10] Liu, Y., Heng, W. and Yue, H. (2023) Quantifying the Coal Mining Impact on the Ecological Environment of Gobi Open-Pit Mines. *Science of the Total Environment*, **883**, Article 163723. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163723>
- [11] Wang, J., Ding, J., Ge, X., *et al.* (2022) Assessment of Ecological Quality in Northwest China (2000-2020) Using the Google Earth Engine Platform: Climate Factors and Land Use/Land Cover Contribute to Ecological Quality. *Journal of Arid Land*, **14**, 1196-1211. <https://doi.org/10.1007/s40333-022-0085-x>
- [12] 周霞. 天山北坡中段气候垂直分异研究[J]. 干旱区地理, 1995(2): 52-60.
- [13] 滕吉文, 张永谦, 司芾, 等. 新疆经济发展与资源、灾害和构筑西亚-西欧海陆大通道的思考[J]. 中国地质, 2013, 40(5): 1329-1350.
- [14] 陈炜, 黄慧萍, 田亦陈, 等. 基于 Google Earth Engine 平台的三江源地区生态环境质量动态监测与分析[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(9): 1382-1391.
- [15] 耿静, 徐栋, 吴御豪, 等. 海南岛生态环境质量时空变化及其对气候变化与人类活动的响应[J]. 生态学报, 2022, 42(12): 4795-4806.
- [16] 杨泽康, 田佳, 李万源, 等. 黄河流域生态环境质量时空格局与演变趋势[J]. 生态学报, 2021, 41(19): 7627-7636.
- [17] 李召良, 段四波, 唐伯惠, 等. 热红外地表温度遥感反演方法研究进展[J]. 遥感学报, 2016, 20(5): 899-920.
- [18] Yan, Y.B., Chai, Z.Y., Yang, X.D., *et al.* (2021) The Temporal and Spatial Changes of the Ecological Environment Quality of the Urban Agglomeration on the Northern Slope of Tianshan Mountain and the Influencing Factors. *Ecological Indicators*, **133**, Article 108380. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108380>