

# 2000—2019 年青海省同仁市 NDVI 时空动态变化

徐佳<sup>1</sup>, 高云飞<sup>1</sup>, 刘伟伟<sup>2</sup>, 党恬敏<sup>1</sup>, 曾建青<sup>3</sup>

(1.黄河水利委员会 黄河上中游管理局, 陕西 西安 710021;

2.青海省水土保持中心, 青海 西宁 810000; 3.互助县水利局, 青海 海东 810500)

**摘要:** [目的] 研究地处黄土高原最西端, 与青藏高原接壤的青海省同仁市植被时空动态变化, 为黄土高原与青藏高原过渡地带的生态保护和治理提供参考。[方法] 基于 MODIS-NDVI 数据, 采用线性趋势回归、Hurst 指数, 从时间和空间尺度分析了同仁市 2000—2019 年 NDVI 动态变化特征, 对 NDVI 与土地利用和海拔高度的关系进行初步分析, 并对 NDVI 未来变化趋势进行预测。[结果] ①2000—2019 年同仁市 NDVI 整体呈波动上升趋势, 平均增速为 0.027/10 a。NDVI 高值区域增加明显, 主要分布在东西部山区, NDVI 值介于 0.8~1 的区域由 2000 年的 388.63 km<sup>2</sup> 增加到 2019 年的 1 066.92 km<sup>2</sup>。②NDVI 上升的区域为 2 925.21 km<sup>2</sup>, 占全市面积的 84.42%, 广泛分布在隆务河谷地区和周围山区, 其中林地 626.13 km<sup>2</sup>, 草地 2094.11 km<sup>2</sup>。③NDVI 值下降的区域为 539.79 km<sup>2</sup>, 占全市面积的 15.58%, 少部分分布在隆务河河谷地区, 大部分在西部和南部山区。以同仁市冻融侵蚀海拔下限 3 583 m 为界, 海拔 3 583 m 以上区域 NDVI 下降的面积占全市 NDVI 下降总面积的 70.93%。④未来 NDVI 值持续上升的区域占全市面积的 79.17%, 持续下降的区域占 13.13%。[结论] 过去 20 a, 同仁市 NDVI 整体上升, 高覆盖度植被面积明显增加, NDVI 下降区域主要分布在高海拔地区。未来同仁市 NDVI 整体上将持续上升, 但仍有部分区域存在下降趋势。

**关键词:** NDVI; 时空动态; 同仁市; 海拔高度

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1000-288X(2021)05-0115-08

**中图分类号:** Q948

**文献参数:** 徐佳, 高云飞, 刘伟伟, 等. 2000—2019 年青海省同仁市 NDVI 时空动态变化[J]. 水土保持通报, 2021, 41(5): 115-122. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.05.016; Xu Jia, Gao Yunfei, Liu Weiwei, et al. Temporal and spatial dynamics of NDVI in Tongren City, Qinghai Province from 2000 to 2019 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(5): 115-122.

## Temporal and Spatial Dynamics of NDVI in Tongren City, Qinghai Province from 2000 to 2019

Xu Jia<sup>1</sup>, Gao Yunfei<sup>1</sup>, Liu Weiwei<sup>2</sup>, Dang Tianmin<sup>1</sup>, Zeng Jianqing<sup>3</sup>

(1. Upper and Middle Yellow River Bureau, Yellow River Conservancy Commission,

Xi'an, Shaanxi 710021, China; 2. Soil and Water Conservation Center of Qinghai Province, Xining, Qinghai 719315, China; 3. Water Resources Bureau of Huzhu County, Haidong, Qinghai 810500, China)

**Abstract:** [Objective] The spatio-temporal dynamic changes of vegetation in Tongren City, Qinghai Province (located at the westernmost end of the Loess Plateau and the bordering Qinghai-Tibet Plateau) were studied in order to provide references for ecological protection and management of the transition zone between the two plateaus. [Methods] The characteristics of dynamic vegetation changes in space and time from 2000 to 2019 were investigated using linear trend regression and the Hurst index based on MODIS-NDVI data. Also, a preliminary analysis of relationships between NDVI changes and land uses and altitudes was conducted, and future trends in NDVI variation were predicted. [Results] ① NDVI values in Tongren City showed a growth rate of 0.027/10 yr over the past 20 years. Areas with high NDVI values increased significantly, and were mainly located in the eastern and western mountainous areas. The areas with NDVI values varying between

收稿日期: 2021-07-19

修回日期: 2021-08-05

资助项目: 国家重点研发计划“沟道工程对流域水沙变化影响及其贡献率”(2016YFC0402404); 水利部财政预算项目“全国水土流失动态监测”(126201340009150001)。

第一作者: 徐佳(1984—), 女(汉族), 陕西省韩城市人, 博士, 高级工程师, 主要从事黄土高原水土保持遥感监测和评价研究。Email: 251837906@qq.com。

0.8 and 1.0 increased from 388.63 km<sup>2</sup> in 2000 to 1 066.92 km<sup>2</sup> in 2019. ② NDVI increased over an area of 2 925.21 km<sup>2</sup>, accounting for 84.42% of the city's area. This area was widely distributed in the Longwu River valley and the surrounding mountainous area, including 626.13 km<sup>2</sup> of forest land and 2 094.11 km<sup>2</sup> of grassland. ③ The area where NDVI decreased was 539.79 km<sup>2</sup>, accounting for 15.58% of the city's area. Most of this area was located in the high-altitude area in the western and southern mountainous area, while a small part of the area was in the Longwu River valley. Taking the lowest altitude of freezing and thawing erosion (3 583 m) as a limit, the area of decreasing NDVI was located above 3 583 m, and accounted for 70.93% of the total area that showed decreasing NDVI. ④ In the future, NDVI will generally continue to increase, with the area of increasing NDVI accounting for 79.17% of the city area, while the area where NDVI will decrease will account for 13.13% of the area of the city. [Conclusion] During the past 20 years, NDVI has generally increased in Tongren City, with high-coverage vegetation increasing significantly. The areas where NDVI decreased were mainly located in high-altitude areas. In the future, NDVI values for Tongren City will continue to increase as a whole, but some areas will still show decreases in NDVI.

**Keywords:** NDVI; spatio-temporal dynamics; Tongren City; altitude

植被作为陆地生态系统的重要组成部分,受到土壤、气候和人类活动的综合影响,是生态环境质量的综合体现。2000年以后,大规模的退耕还林还草、封禁、坡改梯等生态工程的实施,使得黄土高原的植被覆盖显著提高,生态环境明显改善<sup>[1-4]</sup>。一方面,黄土高原植被建设取得了举世瞩目的成效,另一方面,局部地区的植被退化仍然存在。研究表明,黄土高原中部、东南部地区的植被恢复明显,而西北部地区的植被恢复却受到一定程度的抑制<sup>[5-6]</sup>。黄河源区高寒草地的退化趋势没有得到有效遏制<sup>[7]</sup>。城镇化建设导致大量农田和林地被侵占,植被面积减少<sup>[8]</sup>。由于地形地貌、水热条件、地理位置和植被类型的不同,植被的变化趋势可能存在很大的差异<sup>[9-10]</sup>。

归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)是利用植物叶片在近红外波段具有高反射值,叶绿素在红光波段具有强吸收的特征,在多光谱遥感影像中,用近红外(IR)/红波段(R),通过反映植被绿度变化来表征植被生长状况的指标,是目前公认的表征陆地植被覆盖度和生长状况的有效指标<sup>[11-13]</sup>,同时 NDVI 具有时空的连续性,因此在区域植被变化研究中得到了广泛应用<sup>[6,14-15]</sup>。目前最常用的 NDVI 数据包括 SPOTVGT NDVI<sup>[8]</sup>、AVHRR NDVI<sup>[16]</sup>和 MODIS NDVI<sup>[17]</sup>。其中,MODIS-NDVI 数据空间分辨率相对较高,具有时间序列较长、数据源较稳定的优势,适用于市、县或小流域尺度的植被变化研究<sup>[18-19]</sup>。目前的生态治理工程大多以县级行政区为单元进行实施,以县为单元研究植被变化情况,可以更为细致地分析区域生态环境治理效果,为下一步治理决策提供切实可行的依据。

青海省同仁市位于黄土高原最西端,区域内自然

环境差异较大,生态环境脆弱,植被对人类活动和气候变化的响应敏感。作为隆务河省级水土流失重点治理区,近年来,同仁市实施了大面积的生态工程。本研究采用时间连续的 MODIS 遥感影像,对 2000—2019 年同仁市 NDVI 动态变化进行研究,分析 NDVI 与土地利用、海拔高度的关系,并对 NDVI 未来变化趋势进行预测,旨在客观评价同仁市 20 a 来的植被变化情况,为下一步生态治理提供参考,为黄土高原农牧交错区水土流失防治提供依据,助推黄河流域生态环境高质量发展。

## 1 数据与方法

### 1.1 研究区概况

同仁市地处青海省东南部(35°00′—35°47′N, 101°37′—102°27′E),南北长 85 km,东西宽 75 km,全市面积 3 465 km<sup>2</sup>。同仁市位于黄土高原最西端,与青藏高原接壤,属于农、牧业交错区,大陆性高原凉温、冷温半干旱气候,温度垂直变化明显,气温日较差大,光照充足,年均降水量 401 mm,降水变率大,雨热同季,年平均气温 5.6℃。

黄河一级支流隆务河纵贯全市南北,形成东西部山区和中部河谷地区。境内山峦起伏,沟谷相间,地势南高北低,地形可分为河谷川地、低山丘陵、中高山脑山、高山 4 个区域,海拔 2 181~4 954 m。境内草场资源丰富,约占全市面积的 70%。耕地沿隆务河河谷呈带状分布,多年来实施了大规模的梯田、封禁、造林、小流域综合治理等生态工程,生态环境得到显著改善。同仁市主要存在水力侵蚀和冻融侵蚀两种土壤侵蚀类型,水力侵蚀主要分布在中部隆务河谷地区;冻融侵蚀主要分布在东西部山区的高海拔地区。

### 1.2 数据来源

本研究采用的 MODIS-NDVI 数据通过 NASA 网站(https://search.earthdata.nasa.gov/)下载,分辨率 250m。已有的研究表明,研究区 NDVI 在每年的 7—8 月达到峰值<sup>[20]</sup>,因此本研究采用最大合成法对 2000—2019 年 7—8 月 NDVI 数据进行最大化处理,消除云、大气等因素的干扰。海拔高度数据采用 DEM 数据提取,DEM 数据通过地理空间数据云(http://www.gscloud.cn/)下载,分辨率为 30m。土地利用数据采用 2018 年青海省水土流失动态监测成果,分辨率为 2 m。

### 1.3 分析方法

1.3.1 趋势分析 趋势分析采用一元线性回归分析方法,对 2000—2019 年的 20 个 NDVI 图层进行逐像元拟合,得到线性回归方程的斜率,即 NDVI 多年变化趋势 Slope 图层,表示多年植被覆盖变化的方向和速率<sup>[21]</sup>。若 Slope>0,则 NDVI 呈现上升趋势;若 Slope<0,则 NDVI 呈现下降趋势;Slope 绝对值越大,表示 NDVI 值变化越快。Slope 的计算公式为:

$$\text{Slope} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times \text{NDVI}_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n \text{NDVI}_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (1)$$

式中:Slope 为 NDVI 与时间变量拟合的一元线性回归方程的斜率; $i$  为时间变量,等于 1 到  $n$  的整数; $n$  为研究时段的年数,取值 20;NDVI <sub>$i$</sub>  为第  $i$  年的 NDVI 值。

1.3.2  $F$  检验  $F$  检验<sup>[22]</sup>又叫做联合假设检验,假设回归方程很好地符合数据集要求,用来检验回归方程中被解释变量与解释变量之间线性关系在总体上是否显著。本研究采用  $F$  检验对 NDVI 变化趋势进行显著性分析,用于检验 NDVI 变化趋势置信度的高低。 $F$  检验法只代表趋势变化的置信度,与变化快慢程度无关。

1.3.3 高海拔和低海拔区域界定 野外调查发现,同仁市高海拔地区存在冻融侵蚀造成的植被退化现象,为了进一步分析冻融侵蚀对植被的影响,本研究

结合冻融侵蚀区边界,将 NDVI 变化趋势图和冻融侵蚀区相结合,分析不同海拔区域 NDVI 变化情况。本研究采用第一次全国水利普查青藏高原区冻融侵蚀区边界的确定方法(公式 2)<sup>[23]</sup>,利用经纬度计算冻融侵蚀区海拔下界,即该界限以上为冻融侵蚀发生的主要区域,本文将该界限以上定义为高海拔地区,该界限以下定义为低海拔地区。

$$H = \frac{66.3032 - 0.9197X_1 - 0.1438X_2 + 2.5}{0.005596} - 200 \quad (2)$$

式中: $H$  为冻融侵蚀区下界的海拔(在此界限以上的区域,地表处于冻结或冻融交替的状态,为冻融侵蚀区,m); $X_1$  为纬度( $^{\circ}$ ); $X_2$  为经度( $^{\circ}$ )。

1.3.4 Hurst 指数 Hurst 指数是基于重标极差( $R/S$ )的分析方法,用来定量描述植被覆盖的长程依赖性<sup>[20,24]</sup>,基本原理是给定一个时间序列 $\{\xi(t)\}$ , $t = 1, 2, \dots$ ,对于任意正整数  $\tau = 1, 2, \dots$ ,定义均值系列:

$$\bar{\xi}_{\tau} = \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} \xi(t) \quad (3)$$

式中: $\{\xi(t)\}$  为一个给定的时间序列,其中, $t = 1, 2, \dots$ 。 $\tau$  为任意正整数, $\tau = 1, 2, \dots$ 。

$$X(t, \tau) = \sum_{n=1}^t [\xi(n) - \bar{\xi}_{\tau}] \quad (4)$$

式中: $X(t, \tau)$  为累积离差, $1 \leq t \leq \tau$ 。

$$R(\tau) = \max_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) - \min_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) \quad (5)$$

式中: $R(\tau)$  为极差, $\tau = 1, 2, \dots$

$$S(\tau) = \left\{ \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} [\xi(t) - \bar{\xi}_{\tau}]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

式中: $S(\tau)$  为标准差, $\tau = 1, 2, \dots$

$$H = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times y_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n y_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (7)$$

式中: $H$  为 Hurst 指数; $y_i$  为第  $i$  年的  $\ln R/S$  值; $n$  为研究时序。

若存在  $R/S \propto \tau^H$ ,则说明时间序列 $\{\xi(t)\}$ , $t = 1, 2, \dots$ 存在 Hurst 现象, $H$  值称为 Hurst 指数,主要有 3 种形式(详见表 1)。 $H$  值可在双对数坐标系( $\ln \tau, \ln R/S$ )中用最小二乘法拟合得到。

表 1 Hurst 指数存在形式

$H$ 范围	时间序列性质	未来变化趋势与过去变化趋势的关系	变化特征
$0.5 < H < 1$	持续性	一致	$H$ 越接近于 1,持续性越强
$H = 0.5$	随机	无关	—
$0 < H < 0.5$	反持续性	相反	$H$ 越接近于 0,反持续性越强

## 2 结果与分析

### 2.1 2000—2019 年同仁市 NDVI 时间动态变化

图 1 为 2000—2019 年同仁市 NDVI 平均值年际变化情况,可以看出 NDVI 总体呈波动上升趋势,平均上升速率为 0.027/10 a。2000 年为研究时段内的最低值 0.649 5,2019 年上升到 0.711 7。整个研究时段内 NDVI 最大值出现在 2018 年,为 0.749 4。2000—2019 年 NDVI 变化大致可以分为 4 个阶段:①2000—2005 年,NDVI 值持续上升,由 2000 年的 0.649 5,上升到 2005 年的 0.718 7;②2005—2010 年,NDVI 先下降,然后波动上升,2010 年上升至 0.738 2;③2010—2015 年,NDVI 值先下降,后又上升至 0.737 0,随后波动下降,之后缓慢持续下降,至 2015 年降至 0.694 0;④2015—2019 年,NDVI 波动变化幅度较大,2018 年 NDVI 为研究时段内最高值 0.749 4。

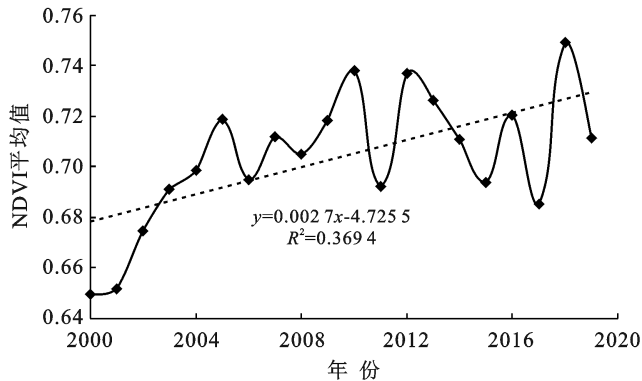


图 1 2000—2019 年青海省同仁市 NDVI 平均值年际变化

近年来黄土高原 NDVI 整体呈现的波动上升趋势<sup>[1,5,25]</sup>与本研究结果基本一致,随着国家和整个社会对生态环境的日益重视,退耕、退牧、封禁等植被保

护措施的广泛实施,黄土高原植被整体改善。由于黄土高原半干旱的气候特征,年际降水量的变化是造成 NDVI 波动的主要原因,降雨量偏少的年份 NDVI 值可能出现明显下降。

### 2.2 2000—2019 年同仁市 NDVI 空间动态变化

图 2 为 2000 年和 2019 年同仁市 NDVI 空间分布图。与 2000 年相比,2019 年 NDVI 分布图深色区域明显增加,浅色区域明显减少,即高覆盖度植被面积增加,低覆盖度面积减少。以 NDVI 值介于 0.1~0.5 的区域为例,2000 年该区域为 661.54 km<sup>2</sup>,占全市面积的 19.09%;2019 年该区域为 350.21 km<sup>2</sup>,占全市面积 10.11%。NDVI 值介于 0.8~1 的区域 2000 年为 388.63 km<sup>2</sup>,占全市面积的 11.22%;2019 年增长到 1 066.92 km<sup>2</sup>,占全市面积的 30.79%(表 2)。从 2000 年到 2019 年,低覆盖度植被向高覆盖度转化明显。隆务河河谷地区 NDVI 增加主要归因于造林和小流域综合治理的广泛实施。东西部山区主要是在实施退牧和封禁措施后,植被自然恢复形成,东西部山区是高覆盖度植被的主要分布区。

表 2 2000 年和 2019 年同仁市 NDVI 分布区间面积和比例

NDVI 分布区间	2000 年		2019 年	
	面积/km <sup>2</sup>	占全市面积的比例/%	面积/km <sup>2</sup>	占全市面积的比例/%
0.1~0.2	33.10	0.96	6.19	0.18
0.2~0.3	171.47	4.95	49.11	1.42
0.3~0.4	232.49	6.71	113.89	3.29
0.4~0.5	224.48	6.48	181.03	5.22
0.5~0.6	272.65	7.87	257.11	7.42
0.6~0.7	677.69	19.56	523.64	15.11
0.7~0.8	1 464.49	42.27	1 267.12	36.57
0.8~1.0	388.63	11.22	1 066.92	30.79

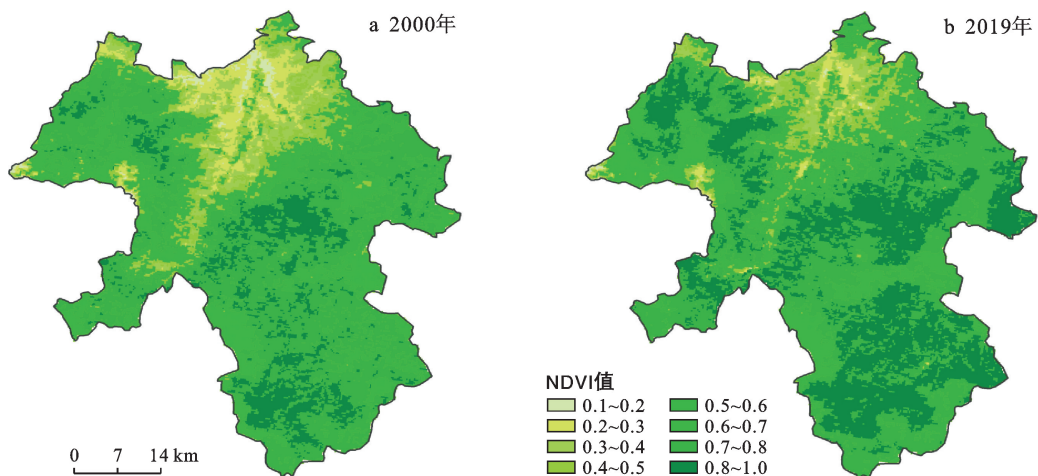


图 2 2000—2019 年青海省同仁市 NDVI 空间分布特征

图 3 为 2000—2019 年同仁市 NDVI 变化趋势 Slope 的空间分布图。Slope 为正值区域,即 NDVI 上升的区域,为 2 635.82 km<sup>2</sup>,占全市面积的 84.42% (图 3,表 3),广泛分布在隆务河谷地区和周围山区,其中林地 626.13 km<sup>2</sup>,草地 2 094.11 km<sup>2</sup>。

Slope 为负值的区域,即 NDVI 下降的区域,为 495.63 km<sup>2</sup>,占全市面积的 15.58%。NDVI 下降的区域有一小部分在隆务河谷地区,是人类活动密集的区域,主要由于城镇建设造成;大部分则分布在西部和南部山区。NDVI 下降的区域中林地 105.58 km<sup>2</sup>,草地 393.10 km<sup>2</sup>(表 3)。由于草地是同仁市的主要植被类型,NDVI 下降的区域植被类型也主要是草地,NDVI 下降的草地占全市草地总面积的 15.80%。建设用地中有 24.21 km<sup>2</sup> 的区域 NDVI 上升,而 10.07 km<sup>2</sup> 的区域 NDVI 下降。

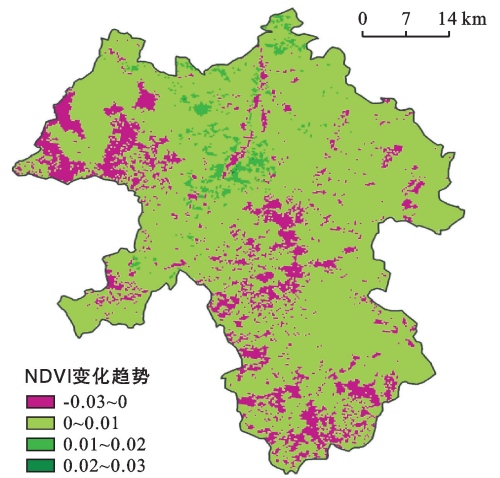


图 3 2000—2019 年青海省同仁市 NDVI 变化趋势空间分布

表 3 不同土地利用类型 NDVI 变化区域面积和比例

土地利用类型	NDVI 上升区域			NDVI 下降区域			总面积/ km <sup>2</sup>
	面积/ km <sup>2</sup>	占 NDVI 上升 区域比例/%	占全市总 面积比例/%	面积/ km <sup>2</sup>	占 NDVI 下降 区域比例/%	占全市总 面积比例/%	
耕地	126.17	4.31	3.64	13.48	2.50	0.39	139.65
园地	0.62	0.02	0.02	0	0	0	0.62
林地	626.13	21.40	18.07	105.58	19.56	3.05	731.71
草地	2 094.11	71.59	60.44	393.10	72.82	11.34	2487.21
建设用地	24.21	0.83	0.70	10.07	1.87	0.29	34.28
交通运输用地	8.95	0.31	0.26	1.43	0.26	0.04	10.38
水域及水利设施用地	0	0	0	10.75	1.99	0.31	10.75
其他土地	45.02	1.54	1.30	5.38	1.00	0.16	50.39
合计	2 925.21	100	84.42	539.79	100	15.58	3 465

总体来看,同仁市 NDVI 在 2000—2019 年显著上升,Slope 值主要分布在 0~0.01 之间(图 4),这部分区域占全市面积的 81.94%,Slope 值介于 0.01~0.02 的区域占全市面积的 2.47%,介于 0.02~0.03 的区域占 0.02%。

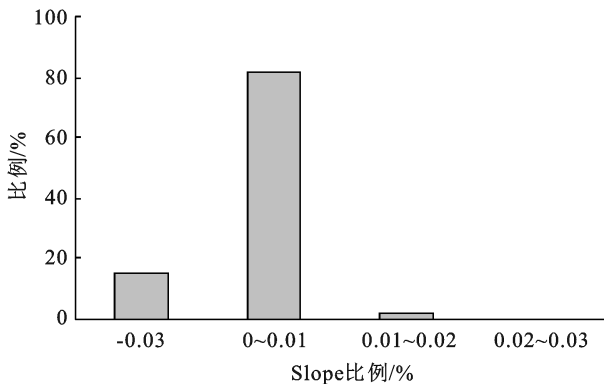


图 4 2000—2019 年青海省同仁市 Slope 值比例

采用 F 检验法进一步对同仁市 NDVI 变化趋势的显著性进行分析,结果表明,2000—2019 年,同仁市

NDVI 极显著上升的区域占 46.68%,显著上升的区域占 16.20%;极显著下降的区域占 2.42%,显著下降的区域占 2.64%(图 5)。可以看出,同仁市植被整体上显著改善,但仍然有部分区域植被存在退化趋势。

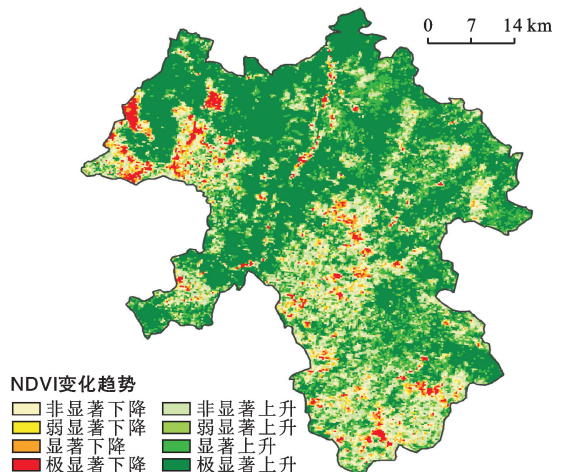


图 5 2000—2019 年青海省同仁市 NDVI 变化显著水平空间分布

### 2.3 NDVI 变化和海拔高度关系

同仁市海拔高度在 2 081~4 954 m 之间,根据公式(2)计算得到同仁市冻融侵蚀下限海拔为 3 583 m,因此本研究将同仁市海拔 2 181~3 583 m 的地区定为“低海拔地区”,将海拔 3 583~4 954 m 的地区定为“高海拔地区”(图 6),低海拔地区面积 2 005.62 km<sup>2</sup>,高海拔地区面积 1 459.38 km<sup>2</sup>。

将 Slope 栅格图和海拔高度图进行叠加分析(图 7),可以看出,在低海拔地区,NDVI 整体呈上升趋势,NDVI 上升的区域占 92.16%,NDVI 下降的区域仅占 7.84%;在高海拔地区,NDVI 下降趋势明显,NDVI 上升的区域占 73.71%,下降的区域占 26.29%。从全市范围来看,NDVI 上升的区域主要分布在低海拔地区,而 NDVI 下降的区域主要分布在高海拔地区。

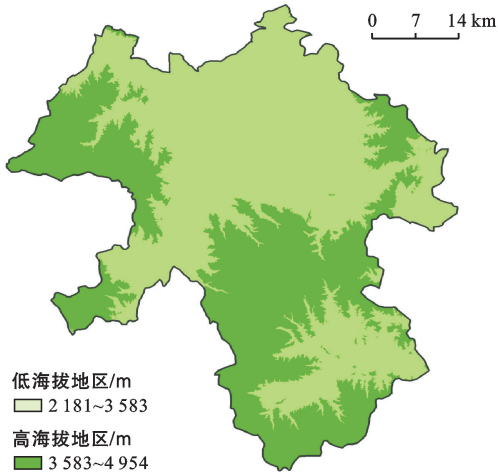


图 6 青海省同仁市低海拔和高海拔地区分布特征

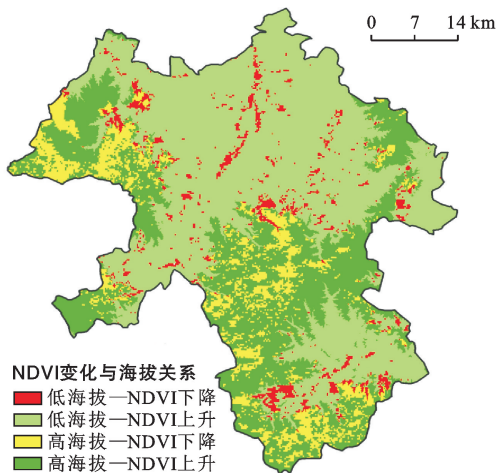


图 7 青海省同仁市 NDVI 变化和海拔关系分布特征

### 2.4 NDVI 未来变化趋势预测

基于同仁市 2000—2019 年 NDVI 数据,采用

Hurst 指数对同仁市未来 NDVI 变化趋势进行预测(表 4)。结果表明,同仁市 NDVI 的 Hurst 指数介于 0.259 4~0.893 5 之间,平均值为 0.647 5。其中,Hurst 指数>0.5 的区域,即未来 NDVI 变化呈现正向演化特征的区域占 92.28%,Hurst 指数<0.5 的区域,即未来 NDVI 变化呈现负向演化特征的区域占 7.72%。

表 4 2000—2019 年青海省同仁市不同海拔地区 NDVI 变化面积和比例

海拔区域	总面积/ km <sup>2</sup>	NDVI 上升区域		NDVI 下降区域	
		面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%
低海拔地区	2 005.62	1 848.43	92.16	157.19	7.84
高海拔地区	1 459.38	1 075.76	73.71	383.62	26.29

将 NDVI 变化趋势 Slope 栅格图(图 3)与 Hurst 指数栅格图进行叠加,得出 NDVI 未来变化趋势(图 8)。可以看出,同仁市 NDVI 未来持续上升的区域占 79.17%,持续下降的区域占 13.13%,由下降转为上升的区域占 2.45%,由上升转为下降的区域占 5.27%。同仁市 NDVI 未来整体上持续上升,但仍有部分区域存在下降趋势。未来持续下降区域主要分布在西部和南部的高海拔地区,少部分分布在隆务河谷的城镇周边。

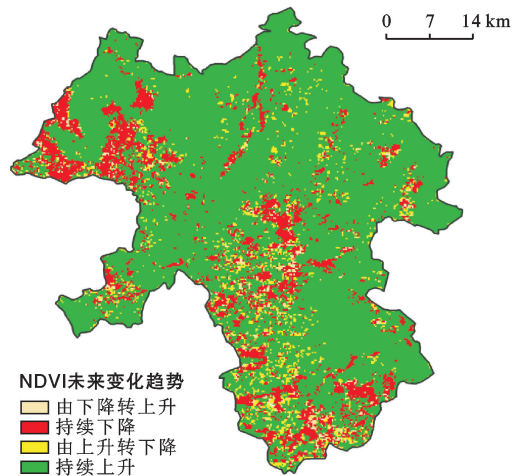


图 8 青海省同仁市 NDVI 未来变化趋势

## 3 讨论

2000—2019 年同仁市 NDVI 整体显著上升,和 2000 年相比,2019 年 NDVI 高值区明显增加,主要分布在东西部山区。NDVI 上升的面积占全市的 84.42%,广泛分布在隆务河谷地区和周围山区。近年来,同仁市实施的一系列生态工程促进了植被恢复,统计数据显示,截止 2015 年,同仁市实施草地禁牧面积 693 km<sup>2</sup>,退牧、轮牧等草场保护措施促进了

草地资源的恢复。在生产建设活动中,人们的生态环境保护意识也在不断提高,对于城镇区域的绿化也更加重视,同仁市建设用地中有 24.21 km<sup>2</sup> 的区域植被得到改善。人类生产、生活方式的改变促进了植被的恢复。

与此同时,同仁市 NDVI 呈下降趋势的面积占全市的 15.58%,少部分分布在隆务河河谷地区,主要由于城镇化建设造成,大部分则分布在西部和南部山区,而且主要分布在高海拔地区,高海拔地区 NDVI 下降的面积占全市 NDVI 下降总面积的 70.93%。作为高海拔地区水土流失加剧的重要原因,冻融侵蚀改变和破坏着土壤的物理性质,降低了农牧业生产能力<sup>[26]</sup>。研究人员针对青海省兴海盆地冻融侵蚀区植被的研究表明,冻融侵蚀会造成草被层呈斑状、鳞片状分布,草皮层在水平方向上撕裂,在垂直方向上与下面土层分离<sup>[27]</sup>。高海拔地区受季节性冻融作用的影响,土壤流失量的 50% 以上都发生在冻土层解冻时期<sup>[28]</sup>。调查发现,同仁市高海拔地区的坡面存在冻融侵蚀造成的草皮撕裂现象,草甸沿坡面向下滑动,造成土壤或基岩裸露,原本覆盖度很高的坡面大片变为裸地。对于高海拔地区植被退化还需要结合广泛的外业调查来进一步研究。

已有研究显示,多年冻土在黄土高原西北部缓慢退化,导致表层土壤水分减少,对植被产生不利影响<sup>[6]</sup>。寒冷干旱环境下,低温和干旱双重胁迫,导致植被对气候变化的响应更加复杂<sup>[29-30]</sup>。青藏高原及其附近的高山区是冻融侵蚀分布最集中且侵蚀最强烈的区域<sup>[31]</sup>。降雨的增加一方面可以改善植被,另一方面会加剧冻融侵蚀,造成植被破坏<sup>[27]</sup>。

同仁市 NDVI 未来变化趋势整体上持续上升,但仍有部分地区存在下降趋势。同仁市处于黄土高原和青藏高原的过渡地带,生态环境脆弱,植被对生态环境变化的响应敏感,受人类活动影响较大。NDVI 存在下降趋势的区域是在科学研究和生态环境治理中需要重点关注的区域。气候变暖可能造成部分区域植被改善,也可能造成高海拔地区表层土壤水分减少、冻融侵蚀加剧,最终造成植被退化。目前对于冻融侵蚀的野外原地貌观测研究很少<sup>[32]</sup>。在未来的研究中,建议加强对高海拔地区植被变化和土壤侵蚀的野外定位观测,对 NDVI 下降区域进行深入分析,为制定合理的植被保护和恢复措施提供依据。

## 4 结论

本文从时间尺度和空间尺度分析了青海省同仁市 2000—2019 年 NDVI 动态变化,初步分析了植被

与土地利用、海拔高度的关系,对植被未来变化趋势进行了预测。

(1) 2000—2019 年同仁市 NDVI 整体呈波动上升趋势,平均上升速率为 0.027/10 a,2000 年 NDVI 平均值为 0.6495,2019 年达到 0.7117。NDVI 高值区域增加明显,NDVI 值介于 0.8~1 的区域由 2000 年的 388.63 km<sup>2</sup> 增加到 2019 年的 1 066.92 km<sup>2</sup>,主要分布在东西部山区,主要为草地。

(2) 从全市范围来看,2000—2019 年 NDVI 显著上升,NDVI 上升区域为 2 925.21 km<sup>2</sup>,占全市面积的 84.42%,其中 NDVI 极显著上升的区域占 46.68%,显著上升的区域占 16.20%。NDVI 上升的区域广泛分布在隆务河河谷地区和周围山区,林地 NDVI 上升的面积为 626.13 km<sup>2</sup>,草地 NDVI 上升的面积为 2 094.11 km<sup>2</sup>。

(3) 同仁市 NDVI 下降区域为 539.79 km<sup>2</sup>,占全市面积的 15.58%。NDVI 下降的区域有少部分分布在隆务河河谷地区,主要为建设用地;大部分分布在西部和南部山区。林地和草地 NDVI 下降的面积分别为 105.58 km<sup>2</sup> 和 393.10 km<sup>2</sup>。NDVI 下降区域在海拔 3 583 m 以上和以下范围内的面积分别为 383.62 km<sup>2</sup> 和 157.19 km<sup>2</sup>,分别占全市 NDVI 下降区域总面积的 70.93% 和 29.07%,NDVI 下降区域主要分布在高海拔地区。

(4) 同仁市 NDVI 未来整体上将持续上升,但仍有部分区域存在下降趋势。持续上升的区域占全市面积的 79.17%,持续下降的区域占 13.13%。由下降转为上升的区域占 2.45%,由上升转为下降的区域占 5.27%。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 张宝庆,吴普特,赵西宁.近 30 a 黄土高原植被覆盖时空演变监测与分析[J].农业工程学报,2011,27(4):287-293.
- [2] Zhao Anzhou, Zhang Anbing, Liu Xianfeng, et al. Spatiotemporal changes of normalized difference vegetation index (NDVI) and response to climate extremes and ecological restoration in the Loess Plateau, China [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2018, 132 (1/2): 555-567.
- [3] 郭帅,裴艳茜,胡胜,等.黄河流域植被指数对气候变化的响应及其与水沙变化的关系[J].水土保持通报,2020,40(3):1-7,13.
- [4] 金凯,王飞,韩剑桥,等.1982—2015 年中国气候变化和人类活动对植被 NDVI 变化的影响[J].地理学报,2020,75(05):961-974.
- [5] 张含玉,方怒放,史志华.黄土高原植被覆盖时空变化及

- 其对气候因子的响应[J].生态学报,2016,36(13):3960-3968.
- [6] Sun Wenyi, Song Xiaoyan, Mu Xingmin, et al. Spatio-temporal vegetation cover variations associated with climate change and ecological restoration in the Loess Plateau [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2015, 209/210:87-99.
- [7] 刘启兴,董国涛,景海涛,等.2000—2016年黄河源区植被 NDVI 变化趋势及影响因素[J].水土保持研究,2019,26(3):86-92.
- [8] Jin Kai, Wang Fei, Li Pengfei. Responses of vegetation cover to environmental change in large cities of China [J]. *Sustainability*, 2018, 10(1):270.
- [9] Liu Ya, Li Yan, Li Shuangcheng, et al. Spatial and temporal patterns of global NDVI trends: Correlations with climate and human factors [J]. *Remote Sensing*, 2015,7(10):13233-13250.
- [10] 张博,周伟,张福存.1999—2018年青海省土地退化遥感监测及其驱动力分析[J].水土保持通报,2020,40(2):120-128.
- [11] Lucht W, Prentice I C, Myneni R B, et al. Climatic control of the high-latitude vegetation greening trend and Pinatubo effect [J]. *Science*, 2002, 296 (5573): 1687-1689.
- [12] Wang J, Meng Jijun, Cai Yunlong. Assessing vegetation dynamics impacted by climate change in the south-western karst region of China with AVHRR NDVI and AVHRR NPP time-series [J]. *Environmental Geology*, 2008, 54(6):1185-1195.
- [13] Zhang Yuan, Zhu Zaichun, Liu Zhuo, et al. Seasonal and interannual changes in vegetation activity of tropical forests in Southeast Asia [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2016,224:1-10.
- [14] Kong Dongdong, Zhang Qiang, Singh V P, et al. Seasonal vegetation response to climate change in the Northern Hemisphere (1982—2013) [J]. *Global and Planetary Change*,2017,148:1-8.
- [15] Recuero L, Litago J, Pinzon J E, et al. Mapping periodic patterns of global vegetation based on spectral analysis of NDVI time series [J]. *Remote Sensing*, 2019, 11(21):2497.
- [16] Tucker C, Pinzón J, Brown M, et al. An extended AVHRR 8 km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2005,26:4485-4498.
- [17] 成方妍,刘世梁,尹艺洁,等.基于 MODIS NDVI 的广西沿海植被动态及其主要驱动因素[J].生态学报,2017,37(3):788-797.
- [18] 刘宪锋,任志远,林志慧,等.2000—2011年三江源区植被覆盖时空变化特征[J].地理学报,2013,68(7):897-908.
- [19] 张琨,吕一河,傅伯杰,等.黄土高原植被覆盖变化对生态系统服务影响及其阈值[J].地理学报,2020,75(5):949-960.
- [20] 杜加强,舒俭民,张林波.1982—2006年黄南州 NDVI 年际变化及其与气候的关系[J].水土保持通报,2010,30(4):229-234.
- [21] Stow D, Daeschner S, Hope A, et al. Variability of the seasonally integrated normalized difference vegetation index across the north slope of Alaska in the 1990s [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2003,24(5):1111-1117.
- [22] 陈海喜,钟九生,兰安军,等.基于地形地貌因子的贵州省 NDVI 时空变化分析[J].贵州科学,2019,37(2):36-43.
- [23] 李智广,刘淑珍,张建国,等.我国冻融侵蚀的调查方法[J].中国水土保持科学,2012,10(4):1-5.
- [24] 李双双,延军平,万佳.近 10 年陕甘宁黄土高原区植被覆盖时空变化特征[J].地理学报,2012,67(7):960-970.
- [25] 范倩倩,赵安周,王金杰,等.1982—2015年黄土高原 NDVI 时空演变及其对气候变化的季节响应[J].生态学杂志,2020,39(5):1664-1675.
- [26] 李东,魏霞,李勋贵,等.基于 RS 和 GIS 的甘肃省冻融侵蚀敏感性评价[J].水土保持研究,2015,22(2):1-6.
- [27] 王转,沙占江,马玉军,等.基于 GIS 的高寒草原区土壤冻融侵蚀强度及空间分布特征[J].地球环境学报,2017,8(1):55-64.
- [28] 张瑞芳,范昊明,王瑄,等.辽宁省冻融侵蚀发生的气候环境条件分析[J].水土保持研究,2008,15(2):8-12.
- [29] 杜际增,崔保山,隋皓辰.气候变化背景下青藏高原核心区植被变化的时空特征[J].环境生态学,2019,1(8):10-20.
- [30] Zeng Biao, Yang Taibao. Impacts of climate warming on vegetation in Qaidam Area from 1990 to 2003 [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2008, 144 (1/2/3):403-417.
- [31] 景国臣.冻融侵蚀的类型及其特征研究[J].中国水土保持,2003(10):17-18.
- [32] 魏霞,丁永建,李勋贵.冻融侵蚀研究的回顾与展望[J].水土保持研究,2012,19(2):271-275.