

2010—2019 年甘肃省植被 NDVI 时空变化特征分析

焦世文, 梁 靓, 陶维新, 冯兰君 (甘肃省地质矿产勘查开发局第三地质矿产勘查院, 甘肃兰州 730050)

摘要 [目的]分析甘肃省植被覆盖时空变化特征,为区域生态环境规划提供理论基础。[方法]基于 2010—2019 年 MODIS NDVI 产品,结合土地利用、生态功能区划分等数据,采用一元线性回归趋势分析方法和变异系数等分析方法对 2010—2019 年甘肃省植被覆盖时空分布特征进行阐述,对植被指数变化趋势及变化稳定性进行定量分析。[结果]甘肃省植被指数在年均月尺度上呈现单峰分布,在夏季处于高位,年均 NDVI 呈现稳步增长的趋势,增速平均为 0.003 2/a;植被指数空间分布具有明显的地域差异性,西部地区 NDVI 值小,可认为基本无植被生长,中东部平原和祁连山地区植被长势较好,NDVI 明显较高,南部地区 NDVI 最高;农业耕作区的植被指数变化波动性比较大,其他地区植被覆盖变化趋于稳定。[结论]基于 MODIS NDVI 时间序列分析方法可为了解甘肃省土地覆盖状况、开展具有区域差异性的生态保护与修复工程等提供一定的理论依据。

关键词 植被覆盖;NDVI;时空分布;变化特征;遥感

中图分类号 Q 948 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)09-0070-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2021.09.019

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Temporal and Spatial Variation Analysis of Vegetation NDVI in Gansu Province from 2010 to 2019

JIAO Shi-wen, LIANG Jing, TAO Wei-xin et al (Third Institute Geological and Mineral Exploration of Gansu Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Lanzhou, Gansu 730050)

Abstract [Objective] To analyze the spatial and temporal variation characteristics of vegetation cover in Gansu Province and provide a theoretical basis for regional ecological environment planning. [Method] Based on MODIS NDVI products during 2010–2019, combined with data of land use and ecological function zone division, the spatial and temporal distribution characteristics of vegetation cover in Gansu Province during 2010–2019 were elaborated by using the analysis methods such as one-dimensional linear regression trend analysis and coefficient of variation, and vegetation index change trends and change stability were quantitatively analyzed. [Result] The vegetation index in Gansu Province showed a single-peaked distribution on the annual average monthly scale, which was at a high level in summer, and the annual average NDVI showed a trend of steady growth with an average growth rate of 0.003 2/a. The spatial distribution of multiple annual average vegetation indices had obvious geographical variability, with small NDVI values in the western region, which could be considered as basically no vegetation growth, and better vegetation growth in the central-eastern plains and Qilian Mountains. NDVI was obviously higher in the central-eastern plains and Qilian Mountains, and NDVI was the highest in the south. The vegetation index changes in agricultural cultivation areas were more volatile, and the vegetation cover changes in other areas tended to be stable. [Conclusion] The MODIS NDVI time-series analysis method can provide some theoretical basis for understanding the land cover status and carrying out ecological protection and restoration projects with regional differences in Gansu Province.

Key words Vegetation cover; NDVI; Spatial and temporal distribution; Variation characteristics; Remote sensing

植被作为土地覆盖最重要的一部分,在全球及区域生态系统环境变化中起着“指示器”的作用^[1]。近年来,随着城市发展及人类活动的加剧,植被退化造成的环境问题越来越严重,植被退化及恢复问题受到了各国政府及学术界的关注。及时准确地获取地表植被特征和植被覆盖变化信息,对于揭示地表植被时空变化规律和评价区域生态环境变化具有重要的指导意义;同时,开展植被覆盖变化与气象因子变化之间关系的研究,有助于了解气候变化对生态环境变化的影响,对于加强生态文明建设具有很大的帮助。

植被指数可以作为一个重要的指标,直观地反映地表植被特征和植被覆盖信息变化。卫星遥感技术可以大范围获取地表植被覆盖及其变化信息,为研究地表覆盖时空变化规律提供了便捷的途径。20 世纪 90 年代以来,国内外学者针对植被指数的时空变化特征及其与气候因子之间的相互关系开展了广泛的研究^[2]。综合国内外研究结果可以看出,气候变化导致北半球大部分地区植被覆盖程度显著增加,并且植被出现了明显的提前回绿和生长季节延长的现象^[3-4]。甘

肃省位于黄河上游,属于典型的山地型高原地貌,植被种类众多,并且其特殊的地理位置、地形条件以及气候等因素的差异,使得植被分布存在明显的纬度地带性差异和海拔垂直性差异^[5]。该地区突出的土地荒漠化和沙化问题使得生态治理工作变得尤为重要,在全省人民的努力下,甘肃省生态状况整体呈改善趋势,生态空间格局进一步优化。目前,针对甘肃省生态环境的研究多集中在部分地区,如宋伟宏等^[6]利用多期土地覆被数据、植被指数和气象资料,分析了祁连山自然保护区不同地表覆盖类型下 NDVI 空间变化特征及趋势,并从季节尺度分析了草地演变对气温和降水的响应特征;赵鸿雁等^[7-8]选择甘肃省中部为研究区,探讨了多种生态保护与修复工程对地表植被覆盖的影响,分析了地表植被覆盖变化信息对气候因子及地形坡度信息的响应;陆荫等^[9]利用黄河流域甘肃段不同时间的植被覆盖变化及其与气候因子的关系研究了植被覆盖变化对气候因子的时空响应规律,为区域生态环境规划建设提供了依据。

为了实现对全省区域生态保护及修复工程治理成效的分析,并进一步指导生态环境恢复工程,有必要对全域生态环境变化状况进行分析。该研究基于甘肃省 2010—2019 年 MODIS NDVI 数据,分析全省植被覆盖信息的时空变化规律,以为评价甘肃省植被覆盖信息时空变化及生态环境变化

基金项目 兰州市县域生态保护红线区生态环境遥感监管试点项目(GSXZJ2019-002)。

作者简介 焦世文(1985—),男,甘肃永靖人,高级工程师,硕士,从事遥感地质、区域地质调查研究。

收稿日期 2020-12-28

提供依据。

1 资料与方法

1.1 数据源 MODIS NDVI 数据来源于美国国家航空航天局(NASA)的 MOD13A3 级月合成植被指数产品,空间分辨率为 1 km×1 km,时间跨度为 2010—2019 年。通过甘肃省行政区划掩膜,得到 2010—2019 年覆盖甘肃省全省的逐月 NDVI 数据;采用均值法计算得到年均及季度 NDVI 数据集。该研究过程中,将每年的 3—5 月划分为春季,6—8 月划分为夏季,9—11 月划分为秋季,12 月—次年 2 月划分为冬季。

DEM 数据来源于美国地质调查局 ASTER GDEM V3 空间分辨率 30 m 的数字高程。生态功能区划数据和土地利用类型数据来源于中国生态系统评估与生态安全数据库。

1.2 统计分析

1.2.1 NDVI 变化趋势分析。采用一元线性回归趋势分析方法^[10]定量分析 NDVI 每个栅格点的时空变化及空间差异特征。该方法基于最小二乘原理模拟每个栅格像元点植被指数的变化趋势,以 NDVI 的时间变化特性反映其空间变化特性,综合反映研究区域植被指数的时空格局演变情况^[4]。计算公式如下:

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

式中, n 为研究时间段的时间序列长度;变量 i 从 1 到 n ,代表各年份的序号; N_i 表示像元第 i 年的 NDVI 值; Slope 为趋势线的斜率,代表 2010—2019 年甘肃省 NDVI 的变化速率, $\text{Slope}>0$ 表明研究时间段内像元植被覆盖呈增加的趋势,并且值越大表示增加趋势越明显, $\text{Slope}<0$ 表明研究时间段内像元植被覆盖呈减少的趋势,并且值越小表示减少趋势越明显, $\text{Slope}=0$ 表明研究时间段内像元植被覆盖没有发生明显的变化趋势;为了更好地分析植被变化趋势情况,将变化趋

势划分为 5 个等级,分别是明显减小($\text{Slope} \leq -0.005$)、轻度减小($-0.005 < \text{Slope} \leq -0.002$)、基本不变($-0.002 < \text{Slope} \leq 0.002$)、轻度增加($0.002 < \text{Slope} \leq 0.005$)、显著增加($\text{Slope} > 0.005$)^[11]。

1.2.2 NDVI 变化稳定性。植被覆盖状况的变化受人为和自然双重干扰的影响,是植被健康状况的重要表示特征。波动大表明植被群落变化不稳定,波动小表明植被群落变化相对稳定。变异系数^[12-13]可以一定程度上反映植被指数年际变化稳定性的空间分布特征,为样本标准差与均值的比值,计算公式如下:

$$\text{CV} = \frac{\text{SD}_{\text{NDVI}}}{\text{NDVI}} \quad (2)$$

$$\text{SD}_{\text{NDVI}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n N_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n N_i)^2}{n}}{n}} \quad (3)$$

式中, CV 表示变异系数, SD_{NDVI} 为研究区逐年 NDVI 标准差, NDVI 为研究时间段内 NDVI 多年平均值, N_i 表示第 i 年的 NDVI 值, n 为研究时间段的时间序列长度。该研究将植被变异程度划分为 4 个等级:非常稳定($\text{CV} \leq 0.04$)、稳定($0.04 < \text{CV} \leq 0.08$)、变异较小($0.08 < \text{CV} \leq 0.12$)、变异剧烈($\text{CV} > 0.12$)^[11]。

2 结果与分析

2.1 NDVI 时间变化特征 从 2010—2019 年甘肃省 NDVI 变化特征(图 1)可以看出,月均 NDVI 变化曲线呈现单峰分布,3—5 月份增长速度最快,7—8 月份达到 NDVI 最大值,随后开始衰减;季节分布上,4 个季度的 NDVI 整体呈现增长的趋势,夏季最高,秋季和春季次之,冬季最低;根据年度 NDVI 变化趋势可以看出,甘肃省 10 年间 NDVI 呈现增长的趋势,增速为 0.003 2/a;2006 年后,增长趋势变大。

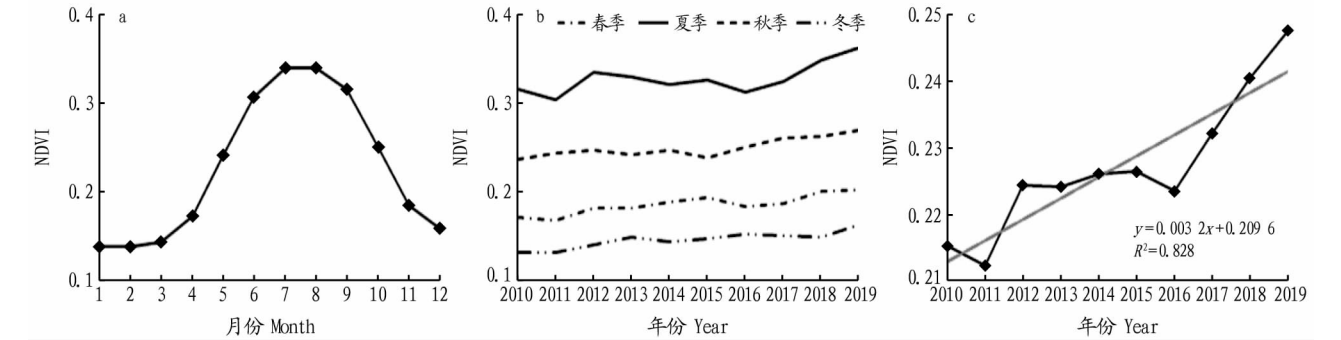


图 1 2010—2019 年甘肃省 NDVI 月变化(a)、季变化(b)和年变化(c)
Fig. 1 The monthly changes (a), seasonal changes (b) and annual changes (c) of NDVI in Gansu Province from 2010 to 2019

2.2 NDVI 空间变化特征 从 2010—2019 年甘肃省年均 NDVI 的空间分布(图 2)可以看出,甘肃省植被分布具有明显的空间地域性差异,表现为南高北低的分布规律。结合甘肃省生态功能区划方案可知,NDVI 较高的区域主要分布在甘肃省南部的秦巴山地落叶阔叶林生态区、藏东—川西寒温性针叶林生态区,其次为黄土高原农业与草原生态区、江河源区—甘南高寒草甸草原生态区,植被覆盖度较低

的区域主要集中在荒漠生态区。植被覆盖度空间地域性差异与甘肃省土地利用类型分布(图 3)一致。甘肃省西部地区多为裸岩石砾地、盐碱地、沙地、戈壁等土壤水源涵养能力低,土壤干燥度大,不利于植被生长,导致该类地区生态承载能力低下,其 NDVI 较小,甚至无植被生长;甘肃省中东部平原地区植被以种植型农作物为主,植被长势相对较好;祁连山地区地表植被覆盖类型比较丰富,多以草原、草甸等分布,

该地区的植被指数明显较高;甘肃省南部地区地势相对较低,地表水源涵养量相对较高,土壤干燥度低,生态承载能力相对较高,植被覆盖以草原、阔叶林和针叶林为主,NDVI 明显高于其他地区^[6-8,14]。

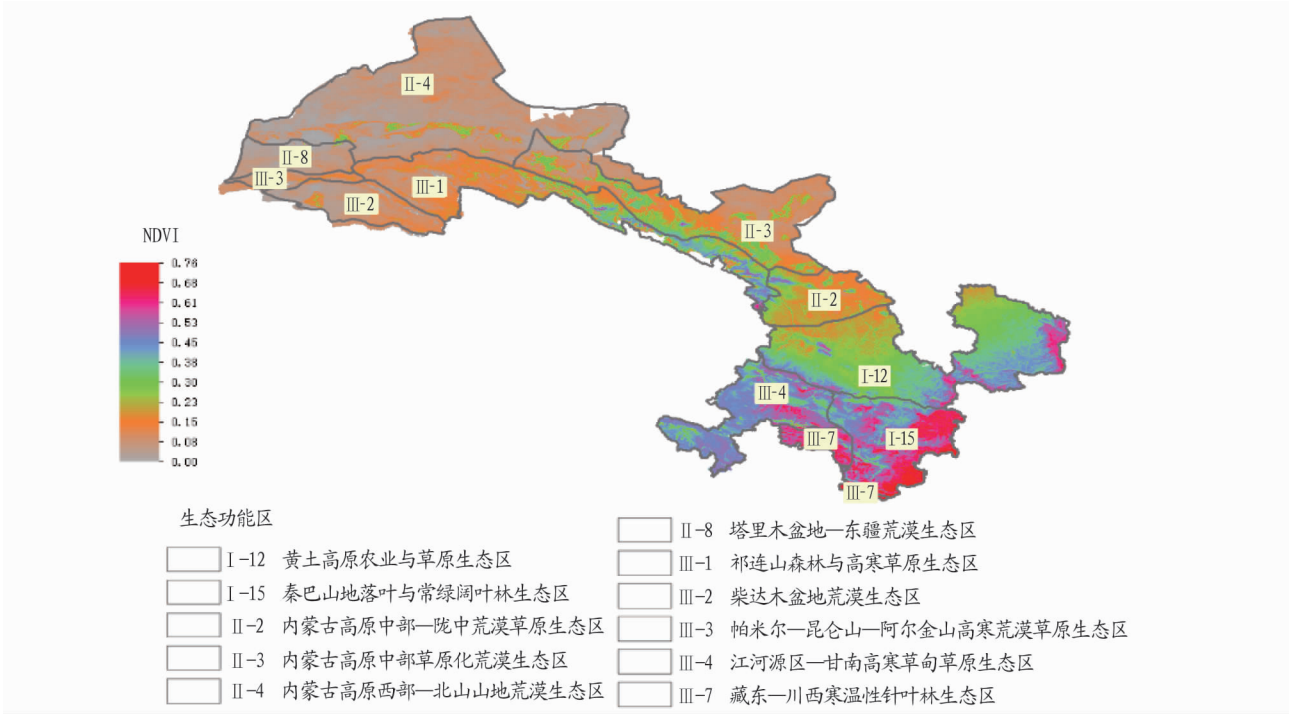


图 2 2010—2019 年甘肃省年均 NDVI 及生态功能区空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of annual average NDVI and ecological function areas in Gansu Province from 2010 to 2019

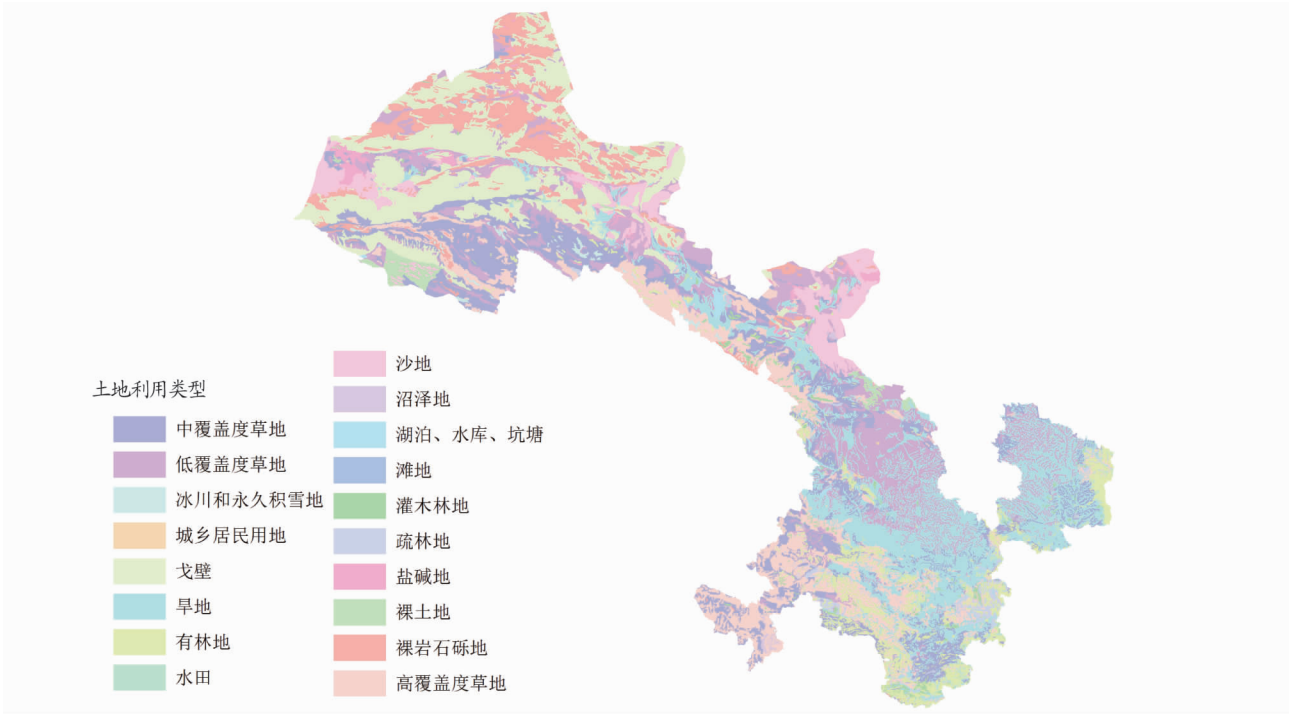


图 3 甘肃省土地利用类型分布

Fig. 3 Distribution of land use types in Gansu Province

计算甘肃省逐像元的 NDVI 变化率,得到植被指数变化趋势空间分布图(图 4),甘肃省年均 NDVI 变化趋势在 $-0.096\ 7\sim0.094\ 4$,绝大部分地区植被分布呈现增加的趋势,荒漠生态区植被基本不变。统计 2010—2019 年甘肃省 NDVI 变化趋势等级划分及面积所占百分比(表 1)发现, NDVI 减少的面积比例为 3.18%,其中,明显减小面积比例为 1.16%,轻度减小面积比例为 2.02%;增加的面积比例为 49.88%,其中,轻度增加面积比例为 20.78%,显著增加面积比例为 29.10%;NDVI 基本不变的面积比例占 46.94%;增加的面积比例远大于减少的面积比例。近年来,随着一系列生

态保护与修复工程的推进,甘肃省全省生态系统格局整体趋 于稳定,生态空间格局得到优化,植被增长进入良性循环。

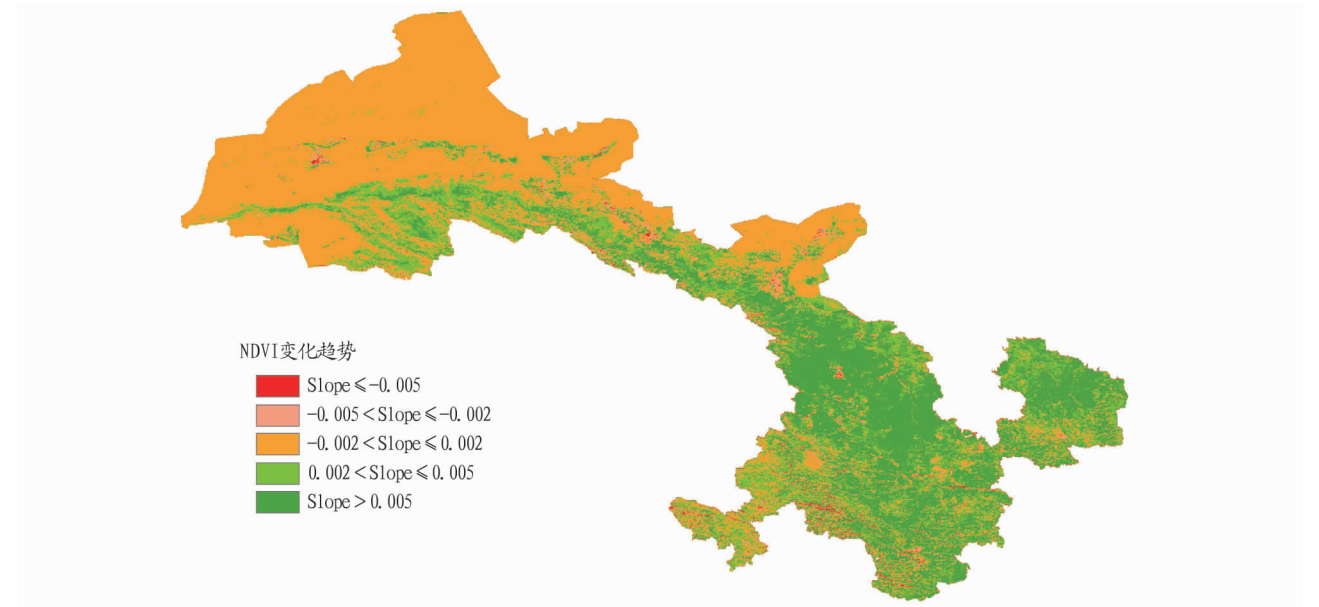


图 4 2010—2019 年甘肃省 NDVI 变化趋势分布
Fig. 4 Distribution of NDVI trends in Gansu Province from 2010 to 2019

表 1 2010—2019 年甘肃省年均 NDVI 变化趋势面积比例
Table 1 The area ratio of the average annual NDVI change trend in Gansu Province from 2010 to 2019

斜率 (Slope)	变化趋势 Change trends	面积比例 Area ratio//%
$Slope \leq -0.005$	明显减小	1.16
$-0.005 < Slope \leq -0.002$	轻度减小	2.02
$-0.002 < Slope \leq 0.002$	基本不变	46.94
$0.002 < Slope \leq 0.005$	轻度增加	20.78
$Slope > 0.005$	显著增加	29.10

从 2010—2019 年甘肃省 NDVI 变异系数分布(图 5)可以看出,在内蒙古高原中部—陇中荒漠草原生态区、黄土高原农业与草原生态区、祁连山森林与高寒草原生态区和柴达木盆地荒漠生态区植被生态环境变化比较剧烈,其他地区植被生态环境变化相对较小。兰州市及白银市地表多以种植农作物为主,该类地区的植被覆盖变化大多是农业耕作的结果。

3 结论

该研究基于甘肃省 2010—2019 年的 MODIS NDVI 产品,结合土地利用、生态功能区划分等数据,开展了植被覆盖

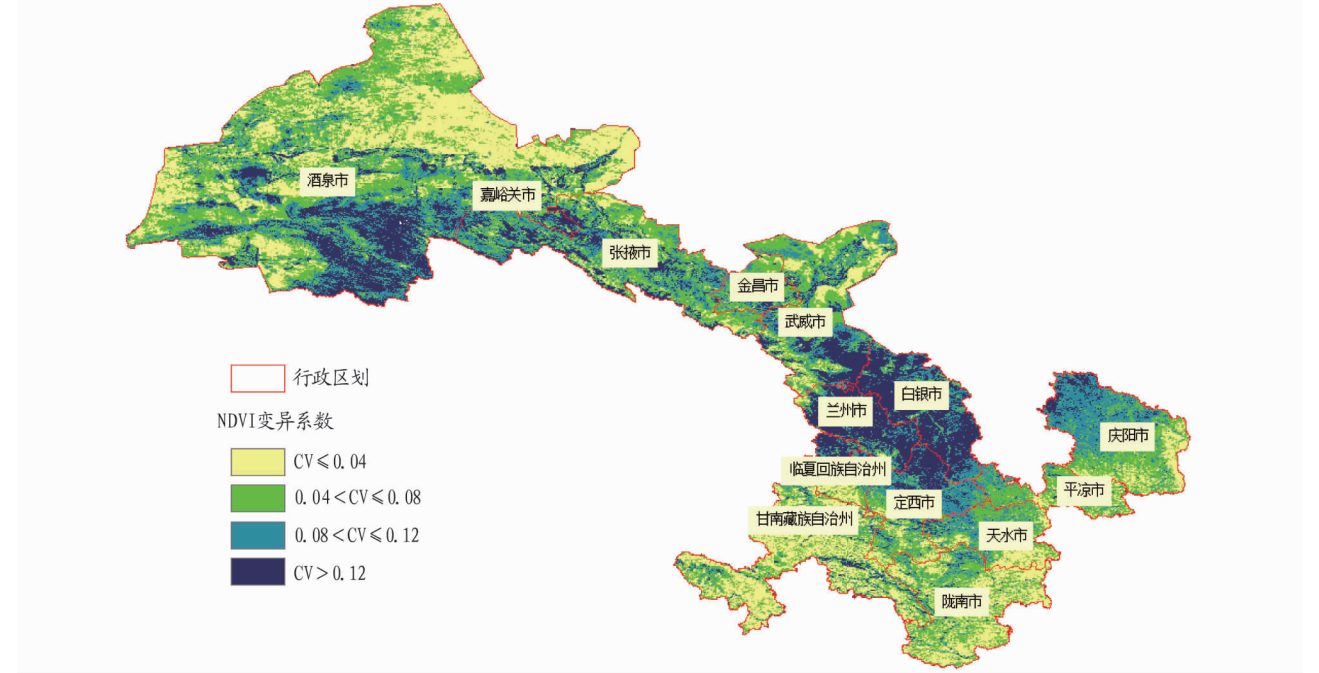


图 5 2010—2019 年甘肃省 NDVI 变异系数分布
Fig. 5 Distribution of NDVI coefficients of variation in Gansu Province from 2010 to 2019

状态,这主要是因为邵东市的经济优势突出;相比之下,隆回县和邵阳县的综合承载力处于严重超载状态,主要是因为这 2 个县的综合经济承载力本已处于严重超载状态,而相对耕地承载力又处于饱和状态,致使综合承载力也呈现出严重超载的状态,即相对耕地承载力已无法支撑现有的经济增长模式。

参考文献

- [1] 王宗明,张柏,何艳芬,等. 吉林省相对资源承载力动态分析[J]. 干旱区资源与环境,2004,18(2):5-10.
- [2] 黄山. 福建省土地资源承载力监测预警研究[J]. 安徽农业科学,2019,47(12):83-86,90.
- [3] 王瑞杰,吴林荣,闫峰. 基于人粮关系的鄂尔多斯砒砂岩区土地资源承载力变化特征[J]. 水土保持通报,2019,39(6):142-148,154.
- [4] 全江涛,杨永芳,周嘉昕. 河南省土地资源承载力时空演变分析与预测[J]. 水土保持研究,2020,27(2):315-322.
- [5] 何仁伟,谢磊,李立娜. 基于人粮关系的土地资源承载力分析:以丹江口库区河南辖区为例[J]. 生态经济,2020,36(9):142-150.
- [6] 代磊,王志杰,张万胜. 贵阳市 1998—2018 年土地资源承载力分析与预测[J]. 中国农学通报,2021,37(1):108-115.
- [7] 赵莉莉,杨文忠,范勋承,等. 高黎贡山村域社会生态系统空间结构及

其成因[J]. 山地学报,2014,32(6):671-677.

- [8] CUMMING G S, OLSSON P, CHAPIN F S III, et al. Resilience, experimentation and scale mismatches in social-ecological landscapes[J]. Landscape ecology, 2013, 28(6):1139-1150.
- [9] GUNDERSON L H, HOLLING C S. Panarchy: Understanding transformations in human and natural systems[M]. Washington, DC: Island Press, 2002.
- [10] 马世骏,王如松. 社会—经济—自然复合生态系统[J]. 生态学报, 1984, 4(1):1-9.
- [11] 叶峻. 社会生态系统:结构功能分析[J]. 烟台大学学报(哲学社会科学版), 1998, 11(4):13-19, 55.
- [12] 李林子,傅泽强,沈鹏,等. 基于复合生态系统原理的流域水生态承载力内涵解析[J]. 生态经济, 2016, 32(2):147-151.
- [13] 邵阳市统计局. 邵阳统计年鉴[M]. 北京:红旗出版社, 2020.
- [14] 傅茜,杨德刚,张新焕,等. 伊犁河谷县域相对资源承载力时空分异[J]. 中国科学院大学学报, 2016, 33(2):170-177.
- [15] 安玮玮,周立华,杨国靖,等. 宁夏盐池县相对资源承载力[J]. 中国沙漠, 2017, 37(2):399-406.
- [16] 赵鹏宇,郭劲松,崔端,等. 忻州市相对资源承载力的时空动态变化[J]. 水土保持研究, 2017, 24(2):341-347.
- [17] 彭争呈,郭仕利. 基于改进模型的西南地区相对资源承载力研究:以四川省雅安市为例[J]. 地域研究与开发, 2018, 37(1):153-158.

(上接第 73 页)

时间及空间变化特征的研究,采用一元线性回归趋势分析方法、增长率和变异系数等分析方法定量地对 NDVI 时空分布特征进行了阐述,主要得到以下结论:

(1) 甘肃省多年月均 NDVI 呈现单峰分布,植被指数在夏季处于高位;2010—2019 年植被覆盖呈现稳步增长的趋势,2006 年后,增长趋势变大。

(2) 甘肃省 NDVI 的空间分布具有明显的空间地域性差异,表现为南高北低的分布规律。植被覆盖的空间地域性差异与甘肃省土地利用类型分布一致。

(3) 除荒漠生态区外,其他绝大部分地区植被分布呈现增加的趋势;除兰州市、白银市及酒泉市南部植被变化波动比较大外,其他地区植被生态环境变化趋于稳定。

参考文献

- [1] 黄晓云,林德根,王静爱,等. 气候变化背景下中国南方喀斯特地区 NPP 时空变化[J]. 林业科学, 2013, 49(5):10-16.
- [2] ZHOU L M, TUCKER C J, KAUFMANN R K, et al. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999 [J]. Journal of geophysical research, 2001, 106 (D17): 20069-20083.
- [3] 徐雨晴,陆佩玲,于强. 气候变化对植物物候影响的研究进展[J]. 资源科学, 2004, 26(1):129-136.

- [4] CHU H S, VENEVSKY S, WU C, et al. NDVI-based vegetation dynamics and its response to climate changes at Amur-Heilongjiang River Basin from 1982 to 2015 [J]. Science of the total environment, 2019, 650 (Pt2): 2051-2062.
- [5] 郭妮,杨兰芳,李民轩. 利用气象卫星资料研究祁连山区植被和积雪变化[J]. 应用气象学报, 2003, 14(6):702-709.
- [6] 宋伟宏,王莉娜,张金龙. 甘肃祁连山自然保护区草地时空变化及其对气候的响应[J]. 草业科学, 2019, 36(9):2233-2249.
- [7] 赵鸿雁,陈英,周翼,等. 甘肃中东部植被生长季 NDVI 时空变化及其对气候因子的响应[J]. 干旱区地理, 2019, 42(6):1427-1435.
- [8] 赵鸿雁,周翼,裴婷婷,等. 甘肃中东部植被时空变化及其对坡度的响应[J]. 遥感信息, 2019, 34(4):133-139.
- [9] 陆荫,张强,李晓红,等. 黄河流域甘肃段植被覆盖度时空变化及对气候因子的响应[J]. 水土保持通报, 2020, 40(2):232-238.
- [10] ZHANG Y, ZHANG C, WANG Z, et al. Vegetation dynamics and its driving forces from climate change and human activities in the Three-River Source Region, China from 1982 to 2012[J]. Science of the total environment, 2016, 563/564:210-220.
- [11] 王家录,李维杰,王勇,等. 2005—2014 年重庆石漠化地区 NDVI 的时空变化及其与气候因子相关性分析[J]. 水土保持研究, 2021, 28(2):217-223.
- [12] TUCKER C J, SLAYBACK D A, PINZON J E, et al. Higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing season trends from 1982 to 1999 [J]. International journal of biometeorology, 2001, 45 (4):184-190.
- [13] 史娜娜,全占军,韩煜,等. 东北林草交错区植被 NDVI 时空特征及其与气候因子关系分析[J]. 水土保持研究, 2016, 23(5):175-182.
- [14] 关文茜. 河西走廊及其周边地区 NDVI 的时空变化及其驱动因子研究[D]. 兰州:兰州大学, 2017.