

DOI:10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.202008019

基于时间序列植被指数资料的承德市植被覆盖 时空演变分析

贺军亮¹, 韦锐¹, 李丽², 金雁琳³

(1. 石家庄学院资源与环境科学学院, 河北 石家庄 050035; 2. 中国自然资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 3. 河北省水文工程地质勘察院, 河北 石家庄 050021)

摘要:承德是京津冀地区重要的水源涵养区和防风固沙区,是京津冀生态环境支撑区的重要组成部分,其植被状况将直接影响着区域生态环境质量的改善。基于 MOD13Q1 时间序列 NDVI 资料,利用线性回归分析法、像元二分法、稳定性分析法等测度承德市全域 2000—2018 年植被覆盖时空演变特征,并分析气候、地形等因素对植被覆盖的影响。结果表明:(1)承德市全域植被状况年际变化总体发生了改善,植被生长季夏季的 NDVI 值最高,月度变化中 7 月份 NDVI 值最大,多年均值达到 0.775 2。(2)植被年际变化趋势显著性存在空间差异,植被指数极显著增加区域面积最大,占比 59.08%,而极显著减少和显著减少的区域面积较小,分别占全域的 0.76% 和 0.58%,主要分布在承德市中部、南部等地区。(3)承德市各县区植被覆盖状况均以较高覆盖度为主,面积达到 45 585.69 km²。在多年植被覆盖度稳定性格局中,西北部波动较大,其余大部分地区稳定性好,波动较低。(4)承德市 NDVI 受 5—7 月份降水量和月均温的影响较大,植被的长势可能受到了前期气象条件的滞后效应影响。地形特征对承德全域植被覆盖状况也有一定的影响,总体来看承德市地势低平地区的 NDVI 值相对较低。研究结果可为承德市加强重要区域生态保护、优化国土空间开发格局和科学制定生态修复措施提供参考。

关键词: MOD13Q1; 承德; NDVI; 植被覆盖; 时空演变

中图分类号: P66

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2020)06-0091-08

Temporal and spatial evolution of vegetation cover in Chengde based on time series NDVI data

HE Junliang¹, WEI Rui¹, LI Li², JIN Yanlin³

(1. College of Resources and Environment Sciences, Shijiazhuang University, Shijiazhuang, Hebei 050035, China; 2. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Natural Resources, Beijing 100083, China; 3. Hebei Provincial Prospecting Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Shijiazhuang, Hebei 050021, China)

Abstract: Chengde is a very important water conservation area and sand prevention area in Beijing-Tianjin-Hebei region. It is also an important part of the ecological environment support area. Its vegetation status will directly affect the improvement of regional ecological environment quality. Based on the NDVI data of MOD13Q1, linear regression analysis, pixel dichotomy and stability analysis were used to measure the spatiotemporal evolution characteristics of vegetation cover in Chengde from 2000 to 2018, and analyzed the impact of climate, terrain and other factors on vegetation coverage. The results showed that: (1) the

收稿日期: 2020-08-08; 修订日期: 2020-09-03

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20190310); 河北省高等学校科学技术研究项目(Z2019009); 石家庄市高等教育科学研究项目(20191004)

第一作者: 贺军亮(1979-),男,副教授,主要从事生态环境遥感研究工作。E-mail: hejunliang0927@163.com

interannual change of vegetation in Chengde has been improved. The NDVI value in summer is the highest in vegetation growing season, and the NDVI value in July is the largest in monthly change, and the annual average value is 0.775 2. (2) The results showed that there were spatial differences in the annual variation trend of vegetation. The area with extremely significant increase in vegetation index was the largest, accounting for 59.08%, while the area with extremely significant decrease and significant decrease accounted for 0.76% and 0.58% of the whole area, respectively. They mainly distribute in the central and southern areas in Chengde. (3) The vegetation coverage of each district and county in Chengde is mainly high coverage, with an area of 45 585.69 km². In the pattern of vegetation coverage stability, the northwest fluctuates greatly, and the rest areas have good stability and low fluctuation. (4) The NDVI of Chengde is greatly affected by the precipitation and monthly average temperature from May to July, and the growth of vegetation may be affected by the lag effect of the previous meteorological conditions. In general, the NDVI value of low-lying areas in Chengde is relatively low. The research results can provide reference for Chengde to strengthen the ecological protection of critical regions, optimize the spatial development pattern of land and scientifically formulate ecological restoration measures.

Keywords: MOD13Q1; Chengde; NDVI; vegetation cover; spatio-temporal evolution

植被是生态系统中重要的组成部分,联系着土壤、大气和水分等要素,具有明显的时间变化特征和空间异质性^[1-2]。植被覆盖度是指植被在地面的垂直投影面积占研究区总面积的百分比,是衡量地表植被覆盖状况的一个重要定量信息,有助于揭示地表植被空间变化规律,且与区域生态系统环境变化以及景观格局等具有密切联系^[3-4]。遥感是一种较为成熟的植被覆盖度监测手段,较之于传统的野外观测方法,具有探测范围广、获取资料快、受地面条件限制少、时间序列资料多等特点。基于可见光和近红外光谱组合的植被指数能够突出地表植被特征,与植被覆盖度呈线性相关,是研究植被覆盖状况的重要参数^[5-6]。MODIS 植被指数产品时间分辨率高,能够反映植被生长的季相变化特征,可以用来很好地区分植被区域的覆盖类型。奚砚涛等^[7]收集江苏省 2000—2013 年的 MODIS NDVI 数据,对不同植被类型的 NDVI 变化趋势进行研究。朱林富等^[8]基于 MODIS EVI,利用分布指数、像元二分模型等方法对重庆植被覆盖变化进行研究。杨强等^[9]利用 MODIS EVI 数据,采取混合像元分解的处理方法提取研究区内的纯净像元指数,利用回归分析等方法研究锡林郭勒盟植被覆盖度变化特征。赵安周等^[10]利用趋势分析、相关系数法、极端气候指数等方法研究了陕甘宁地区的植被覆盖时空变化情况及其对极端气候的响应。

承德地处首都“北大门”,位于潘家口、密云“两库上游”,是内蒙古科尔沁、浑善达克沙地“两沙区前沿”,是滦河、潮河、辽河、大凌河“四河之源”,是京津

冀水源涵养功能区和华北的重要生态屏障,生态功能战略地位非常重要。本文基于 MODIS NDVI 长时间序列数据资料,利用像元二分法、线性回归分析法、稳定性分析法等测度承德市全域 2000—2018 年植被覆盖时空演变特征,并分析气候、地形等因素对植被覆盖的影响,为承德市生态环境规划和治理提供科学参考。

1 数据与方法

1.1 数据资料

本研究采用的时间序列 NDVI 资料为美国国家航空航天局(NASA)数据中心的 MOD13Q1 v006 数据。MOD13Q1 数据是 TERRA-MODIS 采用 Sinusoidal 投影方式的三级网格陆地植被数据产品,空间分辨率为 250 m,时间分辨率为 16 d^[11]。该产品已经过几何校正、辐射校正和大气校正,利用 MRT(MODIS ReProjection Tools)工具对数据进行格式转换和投影转换,按研究区范围进行裁剪后,利用最大值合成法获取 2000—2018 年承德市月、季、年 NDVI 最大值合成影像。

DEM 数据采用的是 ASTER GDEM(先进星载热发射和反射辐射仪全球数字高程模型)数据,空间分辨率为 30 m。承德市数字高程模型数据如图 1 所示。气象数据来源于承德市各区县气象站点,气象指标包括月平均气温和月降水量。

1.2 研究方法

1.2.1 线性回归分析法

采用一元线性回归分析方法,逐像元计算 NDVI 随时间变化的回归斜率:

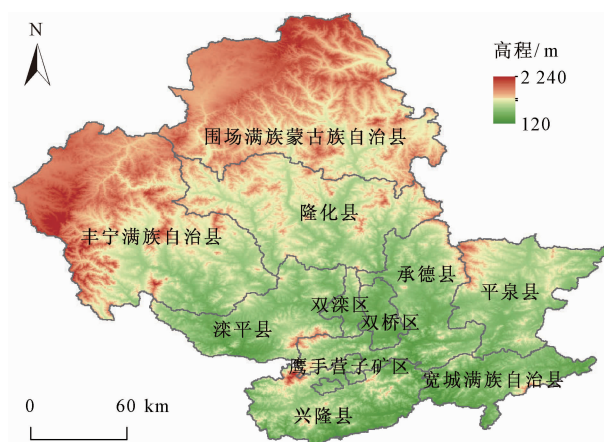


图1 承德市数字高程模型数据

Fig. 1 Digital elevation model data of Chengde

$$k = \frac{n \sum_{i=1}^n (i I_{NDVi}) - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n I_{NDVi}}{n \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2}$$

式中: n ——总年数;

I_{NDVi} ——第 i 年 NDVI 最大值;

k ——趋势线的斜率, $k > 0$, 则 NDVI 值在 n 年间呈增加趋势; $k < 0$, 则 NDVI 值在 n 年间呈减少趋势。

显著性代表变化趋势的可信程度, 趋势的显著性采用 F 检验, P 值用来判定假设检验结果, 根据检验结果分为五个等级: 极显著减少 ($k < 0, P < 0.01$); 显著减少 ($k < 0, 0.01 \leq P < 0.05$); 基本稳定 ($P \geq 0.05$); 显著增加 ($k > 0, 0.01 \leq P < 0.05$); 极显著增加 ($k > 0, P < 0.01$)^[12]。

1.2.2 像元二分法

根据像元二分模型, 像元的 NDVI 值是植被覆盖情况与裸地信息的组合, 利用 NDVI 值可以直接计算植被覆盖度 (F_v):

$$F_v = \frac{I - I_{soil}}{I_{veg} - I_{soil}}$$

式中: I_{veg} ——纯植被覆盖区域的 NDVI 值;

I_{soil} ——裸地的 NDVI 值。

试验中, 若采用研究区内的 I_{max} 和 I_{min} 取代 I_{veg} 和 I_{soil} 值, 结果中会出现异常值, 因此一般根据研究区内的植被覆盖情况和遥感影像质量选择置信区间, 并采用置信区间内的最大和最小值。本研究中, I_{min} 取 NDVI 图中累积概率在 5% 以上对应的 DN 值; I_{max} 取 NDVI 图中累积概率在 95% 以上对应的 DN 值^[13]。利用 IDL 结构语言计算出历年植被覆盖度, 并将植被覆盖

度划分为五级: 极低覆盖度 $F_v < 0.2$ 、低覆盖度 $0.2 \leq F_v < 0.4$ 、中覆盖度 $0.4 \leq F_v < 0.6$ 、高覆盖度 $0.6 \leq F_v < 0.8$ 和极高覆盖度 $F_v \geq 0.8$ ^[14]。

1.2.3 稳定性分析法

通过逐像元计算多年植被覆盖度的变异系数, 评估其在时间序列上的稳定性和波动情况:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}}$$

式中: C_v ——变异系数;

σ ——多年植被覆盖度标准差;

$\bar{x}$ ——多年植被覆盖度平均值。

为直观分析变异系数的空间分布特征, 将 C_v 分为以下 5 个等级: 低波动变化 ($C_v \leq 0.05$); 较低波动变化 ($0.05 < C_v \leq 0.10$); 中等波动变化 ($0.10 < C_v \leq 0.15$); 较高波动变化 ($0.15 < C_v \leq 0.20$); 高波动变化 ($C_v > 0.20$)^[15]。

2 结果与分析

2.1 植被指数时空变化特征

2.1.1 植被指数时间变化统计特征

基于承德市 2000—2018 年的年最大 NDVI 值合成图像, 统计各年全区域像元的 NDVI 平均值, 分析其年际变化情况, 如图 2 所示。NDVI 值除 2007 年、2009 年和 2014 年有所下降外, 整体上呈上升趋势, 从 2000 年的 0.710 0 上升到 2018 年的 0.829 2, 说明承德市的植被状况总体发生了改善。标准差除 2000 年、2001 年、2002 年和 2009 年明显较高外, 其余大部分年份则趋于平稳, NDVI 值离散程度较小, 均在 0.09 以下。

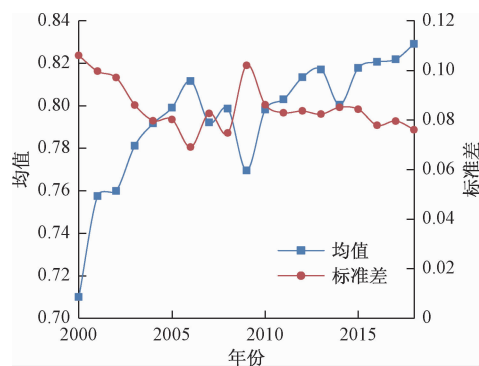


图2 承德市 2000—2018 年 NDVI 值年际变化

Fig. 2 Interannual variation of NDVI in Chengde from 2000 to 2018

基于承德市 2000—2018 年的季节最大 NDVI 值合成图像, 统计各季节全区域像元的 NDVI 平均值, 分析其季节变化情况, 如图 3 所示。研究区夏季是植物

的生长季,植被茂盛。在近 19 年间,夏季 NDVI 均值最高,2018 年最高值达到了 0.829 0,而冬季 NDVI 值最低,2012 年最低值为 0.254 0。春季和秋季的 NDVI 值整体相差不大,除 2001 年春季均值(0.468 8)明显较低外,其余年份均在 0.5~0.7 之间。整体上,19 年间四个季节的 NDVI 均值均呈现上升趋势,与年际变化趋势一致。进一步基于承德市 2000—2018 年的 NDVI 各月最大值合成图像,统计各月全区域像元的 NDVI 平均值,分析其月度变化情况,如图 4 所示。可以看出,一年中 1 月 NDVI 值最小,仅为 0.240 1,之后随着气温回升,天气变暖,植被进入生长季节,NDVI 逐月上升,并于 7 月份达到一年之中的最大值 0.775 2,之后又逐月下降。总体上,研究区全生长季内植被的生长速度呈倒“V”字型分布变化特征,其中春季 4—5 月和秋季 9—10 月植被生长变化迅速。因为研究区地形复杂,坝上坝下地区气候分异显著,5 月份和 9 月份的 NDVI 标准差较大,区域 NDVI 值离散程度较高。

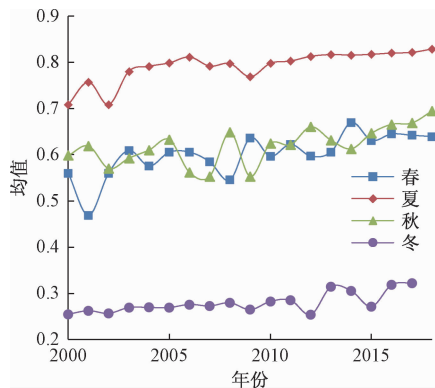


图 3 承德市 2000—2018 年 NDVI 季节变化情况
Fig. 3 Seasonal changes of NDVI in Chengde from 2000 to 2018

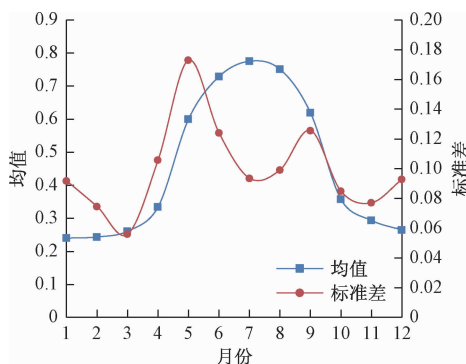


图 4 承德市 2000—2018 年 NDVI 月度变化情况
Fig. 4 Monthly changes of NDVI in Chengde from 2000 to 2018

2.1.2 植被指数显著性变化分析

利用一元线性回归分析的方法,得出承德市 2000—2018 年植被年际变化趋势显著性空间分布图(图 5)。整体上,近 19 年来,呈增加趋势的区域所占比例较大,其中植被指数极显著增加的区域面积最大,占比达到了 59.08%,各区县均有分布。显著增加的区域占总面积的 13.65%,主要分布在承德市的围场县南部、兴隆县等地区。植被指数增加与承德市不断加快实施重大生态工程有关,近年来陆续针对不同区域实施了荒山荒地防护林、生态廊道绿化、矿山复绿、森林质量提升等工程。极显著减少和显著减少的区域面积较小,分别占总面积的 0.76% 和 0.58%,主要分布在承德市中部的双滦区和双桥区、以及南部的宽城县等地区。基本稳定的区域占到总面积的 25.03%,主要分布在承德市的围场县北部、丰宁县东北部和兴隆县南部等地区。

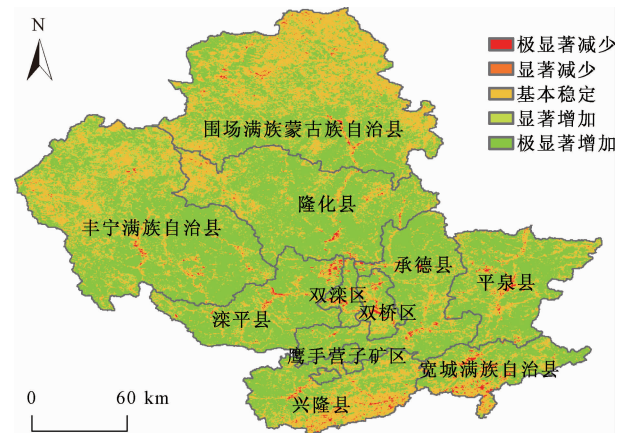


图 5 承德市 2000—2018 年植被年际变化趋势显著性分布
Fig. 5 Significant distribution of interannual variation trend of vegetation in Chengde from 2000 to 2018

2.2 植被覆盖度总体特征分析

2.2.1 植被覆盖度多年均值空间分布

承德市 2000—2018 年最大植被覆盖度多年均值空间分布情况如图 6 所示,从整体上看,承德全市植被覆盖度较高,极高覆盖度和高覆盖度等级的植被所占比例达到了 99.37%,其中,极高覆盖度植被面积最大,为 31 759.25 km²,所占比例为 69.23%,高覆盖度植被面积为 13 826.44 km²,所占比例为 30.14%。中覆盖度、低覆盖度和极低覆盖度等级的植被面积较小,分别为 217.81 km²、63.81 km²和 9.81 km²,所占比例分别为 0.47%、0.14%和 0.02%,零星分布在承德市各个地区。

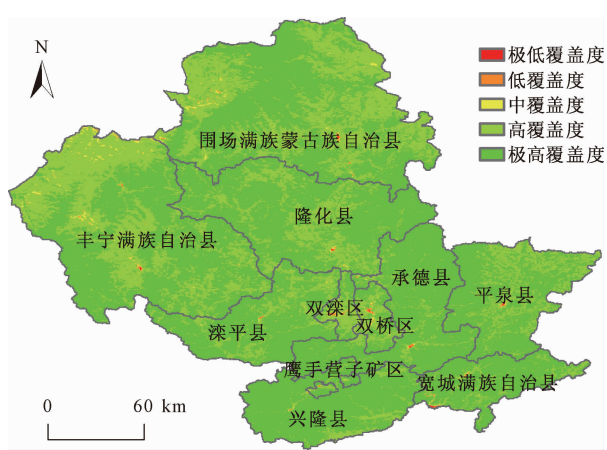


图 6 承德市 2000—2018 年最大植被覆盖度多年均值空间分布
Fig. 6 Spatial distribution of the perennial mean value of maximum vegetation coverage in Chengde from 2000 to 2018

受地理位置、人类活动、经济社会发展情况等多种因素的影响,承德市各区县的植被覆盖度情况也存在明显的空间差异。从承德市各县各等级植被覆盖度面积和比例统计情况看(表 1),各区县均以较高覆盖度植被为主。除双滦区是高覆盖度植被面积占该县比

例最大外,其余 11 个县均为极高覆盖度植被面积所占比例最大。其中,鹰手营子矿区、承德县、兴隆县、宽城满族自治县的极高覆盖度植被面积所占比例均达到了 80% 以上,平泉县、滦平县和隆化县的极高覆盖度植被面积所占比例也达到了 70% 以上。而各区县极低覆盖度植被面积所占比例均在 1% 以下。低覆盖度植被面积所占比例除双桥区(1.02%)和双滦区(1.32%)外,其余 9 个县所占比例也均在 1% 以下。中覆盖度植被面积所占比例除双桥区(1.40%)、双滦区(1.61%)、鹰手营子矿区(1.12%)和丰宁满族自治县(1.06%)外,其余 7 个县均在 1% 以下。较低覆盖度的植被面积所占比例较小,承德市整体植被状况较好,植被覆盖度普遍较高。近年来,宽城满族自治县在废弃矿山上栽果树,实施“百矿披绿”等工程;兴隆县集中开展矿山环境整治,推动矿山企业复绿工程等;承德县推进经济林产业、用材林基地等生态工程等;鹰手营子矿区加大矿山恢复治理等工程性造林,搞好城区、乡村绿化等工程。这些生态工程的有效实施对区域植被生态环境的保护和恢复起到了积极作用,整体提高了承德市的植被覆盖度。

表 1 承德市各县各等级植被覆盖度面积和比例

Table 1 Statistics of vegetation coverage areas and ratios in all counties of Chengde

区县	极低覆盖度		低覆盖度		中覆盖度		高覆盖度		极高覆盖度	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
双桥区	1.00	0.13	7.69	1.02	10.56	1.40	339.44	44.88	397.63	52.57
双滦区	0.25	0.05	6.94	1.32	8.44	1.61	286.69	54.70	221.81	42.32
鹰手营子矿区	0.06	0.04	1.56	0.90	1.94	1.12	28.06	16.23	141.25	81.71
承德县	1.00	0.02	4.13	0.10	4.13	0.10	420.06	9.92	3807.00	89.87
兴隆县	0.00	0.00	1.56	0.04	2.56	0.07	361.13	9.99	3250.50	89.90
平泉县	0.94	0.02	4.06	0.11	3.25	0.08	1 113.69	29.12	2 702.69	70.67
滦平县	0.13	0.00	2.44	0.07	3.69	0.11	736.75	21.19	2 734.19	78.63
隆化县	1.13	0.02	3.31	0.05	5.19	0.08	1 554.06	24.45	4 793.31	75.40
丰宁满族自治县	1.00	0.01	13.06	0.13	108.00	1.06	4 330.94	42.67	5 697.94	56.13
宽城满族自治县	2.81	0.13	6.50	0.29	7.50	0.34	326.25	14.58	1 895.06	84.67
围场满族蒙古族自治县	1.50	0.01	12.44	0.12	62.00	0.59	4 324.19	41.27	6 077.63	58.01

2.2.2 植被覆盖度稳定性程度分析

通过逐像元计算承德市 2000—2018 年多年植被覆盖度的变异系数,分析植被覆盖度稳定性空间分布情况(图 7)。从整体上看,承德市植被覆盖度稳定性呈现明显的区域差异,西北部稳定性较差,波动较高,其余大部分地区稳定性较好,波动较低。低波动变化区域的面积最大,为 20 022.69 km²,占总面积的 43.64%,集中分布在承德市西部、南部的大部分地区。较低波动变化区域的面积为 19 680.13 km²,占总面积的 42.90%。中等波动变化区域的面积为 4 533 km²,

占总面积的 9.88%,主要分布在围场县东部、平泉县、承德县等地区。较高波动变化区域的面积为 1 230.44 km²,占总面积的 2.68%,主要分布在丰宁县、围场县西部,少量分布在围场县东北部,以及双滦区、双桥区等地区。高波动变化区域的面积最小,为 410.88 km²,仅占总面积的 0.90%,主要分布在承德市丰宁县西北部、宽城县西南部等地区。

2.3 植被变化的影响因素分析

2.3.1 植被覆盖与气候变化的关系

水分和热量是植被正常生长的必要条件,气候变

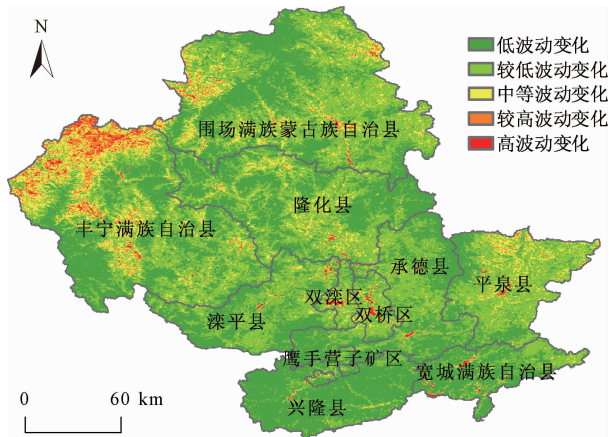


图7 承德市2000—2018年植被覆盖度稳定性分布
Fig.7 Stability distribution of vegetation coverage in Chengde from 2000 to 2018

化会直接影响植被的长势情况。为了解19年间降水和气温对承德市植被变化的影响,采用SPSS软件对承德市年NDVI最大值与降水、气温要素进行Pearson相关性分析。

在降水方面,承德市降水年内分布不均匀,降水主要集中在夏季,考虑到降水对植被生长状况的影响具有一定的累积和滞后效应,本研究选取分段方式统计不同时段降水量与承德市年NDVI最大值的相关性^[16]。因多年来承德市NDVI最大值一般在7月份达到最大,故降水量的研究时段重点考虑7月份之前,分别对1—3、3—5、5—7和7月4时段进行统计,相关系数分别为-0.18, -0.17, 0.57和0.56。NDVI与5—7月份降水量、7月份当月降水量的相关系数较大,且为正相关,说明这一时期降水是否充沛对承德市植被的生长状况起到关键作用。

在气温方面,生长季的气温对NDVI的影响较大^[12]。1月和2月温度较低,不太适宜植被生长,因此重点选取3—7月份气温数据与年NDVI最大值作相关性分析,相关系数分别为-0.03, 0.05, -0.21, -0.50, -0.45, 3—5、5—7月时间段相关系数分别为-0.06, -0.54。7月份是承德市平均气温最高的月

份,气温过高会影响植被的光合作用,叶面气孔关闭,光合速率下降,从而影响植物生长。此外,温度较高会加剧植物的蒸腾作用,叶片出现失水、枯黄等现象,植被生长受阻或死亡,这些都会造成NDVI值下降。最大NDVI值与5—7月份的平均气温相关性最强,且呈负相关,说明这一时期的气温越低,NDVI值越高。而3月、4月、5月的相关系数较低,说明这3个月份的气温情况对年最大NDVI值的影响不大。

2.3.2 植被覆盖受地形特征的影响

对承德市DEM数据进行重分类处理,根据承德市实际情况和有关高程、坡度分类标准^[17-18],将高程划分为:平原(122~200 m),丘陵-台地(200~500 m),低海拔山地、高原(500~1 000 m),中海拔山地、高原(1 000~2 236 m)4个等级。将坡度划分为:平坡(0°~5°),缓坡(5°~15°),斜坡(15°~25°),陡坡(25°~35°),急坡(35°~45°),险坡(>45°)6个等级。基于承德市2000—2018年NDVI历年最大值合成图像,逐像元统计多年NDVI平均值,与地形特征数据进行叠置分析,统计承德市最大植被指数在不同高程和坡度下的分布规律,得到结果如表2所示。

从表2可以看出,平原地区整体NDVI值较低,最低值出现在平坡范围内,为0.624 2,地势平缓的地区人类活动较为密集,城乡建设占用土地等活动会影响植被覆盖情况。在丘陵-台地地区,急坡的NDVI值最高,从平坡到急坡,NDVI值呈上升趋势。在低海拔山地、高原和中海拔山地、高原两个地区,NDVI最高值均出现在险坡范围内,从平坡到险坡,坡度越高,NDVI值越高。在各级高程坡度交集下,最高值出现在中海拔山地、高原地貌区的险坡范围内,为0.845 3。整体上看,承德市地势低平地区的NDVI值偏低,地势较陡地区NDVI值偏高,随着坡度的不断增加,NDVI值总体呈上升趋势,说明地势较陡地区的植被覆盖情况要优于地势低平地区。承德市的低海拔山地、高原地区面积占总面积的45.86%,中海拔山地、高原地区面积占总面积的42.66%,且区域内多有大型林场分布,是这些地区NDVI值较高的原因。

表2 各级高程坡度交集下的最大植被指数均值

Table 2 Mean values of the maximum vegetation indexes at the intersection of elevations and slopes

地貌	平坡	缓坡	斜坡	陡坡	急坡	险坡
平原	0.624 2	0.696 7	0.730 7	0.718 2		
丘陵-台地	0.746 5	0.769 9	0.795 7	0.807 4	0.810 7	0.803 3
低海拔山地、高原	0.767 1	0.789 8	0.814 3	0.830 9	0.839 9	0.844 3
中海拔山地、高原	0.733 5	0.772 2	0.816 4	0.837 7	0.842 2	0.845 3

3 结论

(1) 承德市全域 2000—2018 年 NDVI 值整体呈上升趋势,体现了区域植被覆盖状况在不断改善的特点,这得益于承德市各区县对植被保护的重视以及生态工程项目的有效实施。

(2) 植被指数年际变化在空间上存在显著性差异,植被指数极显著增加的面积最大,而极显著减少和显著减少的区域面积较小,且主要分布在承德市中部、南部等地区。

(3) 承德市植被生长的季相变化特征为夏季 NDVI 均值最高,冬季 NDVI 均值最低;7 月份 NDVI 值最大,1 月最小。

(4) 承德市各区县的植被覆盖状况均以较高覆盖度为主,鹰手营子矿区、承德县等区县的极高覆盖度植被面积所占比例更是达到了 80% 以上。在稳定性格局中,承德西北部植被变化波动较大,其余大部分地区稳定性好,波动较低。

(5) 气候因素对植被变化有一定的影响,NDVI 受 5—7 月份降水量和月均温的影响较大,这段时间的降水量大且气温偏低将有助于植被的生长。地形对承德全域植被覆盖状况也有一定的影响,呈现出平原地区的 NDVI 值较低,海拔较高、坡度较陡的地区 NDVI 值较高的特征。

参考文献 (References):

- [1] 于泉洲,梁春玲,刘煜杰,等. 基于 MODIS 的山东省植被覆盖时空变化及其原因分析[J]. 生态环境学报, 2015, 24(11): 1799 - 1807. [YU Q Z, LIANG C L, LIU Y J, et al. Analysis of vegetation spatio-temporal variation and driving factors in Shandong Province based on MODIS [J]. Ecology and Environment Sciences, 2015, 24(11): 1799 - 1807. (in Chinese)]
- [2] 曹乐,聂振龙,刘敏,等. 民勤绿洲天然植被生长与地下水埋深变化关系[J]. 水文地质工程地质, 2020, 47(3): 25 - 33. [CAO L, NIE Z L, LIU M, et al. Changes in natural vegetation growth and groundwater depth and their relationship in the Minqin oasis in the Shiyang River Basin[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2020, 47(3): 25 - 33. (in Chinese)]
- [3] 李小亚,张勃,靳自宝. 基于 MODIS-NDVI 的甘肃河东地区植被覆盖度动态监测[J]. 水土保持研究, 2013, 20(1): 112 - 115. [LI X Y, ZHANG B, JIN Z B. Dynamic monitoring of vegetation coverage change in Hedong area of Gansu based on MODIS-NDVI[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2013, 20(1): 112 - 115. (in Chinese)]
- [4] 宋敏敏,张青峰,吴发启,等. 基于 NDVI 的延河流域时空演变分析[J]. 水土保持研究, 2017, 24(4): 6 - 11. [SONG M M, ZHANG Q F, WU F Q, et al. Spatiotemporal variation of NDVI in Yanhe basin[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(4): 6 - 11. (in Chinese)]
- [5] 罗文玮,赖日文,陈思雨,等. 基于 NDVI 的福建省植被变化特征分析[J]. 森林与环境学报, 2016, 36(2): 141 - 147. [LUO W W, LAI R W, CHEN S Y, et al. Analysis of vegetation variation characteristics in Fujian based on NDVI[J]. Journal of Forest and Environment, 2016, 36(2): 141 - 147. (in Chinese)]
- [6] 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. [CHENG F Y, LIU S L, YIN Y J, et al. The dynamics and main driving factors of coastal vegetation in Guangxi based on MODIS NDVI[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(3): 788 - 797. (in Chinese)]
- [7] 奚砚涛,徐勇,刘欣婷. 2000—2013 年江苏省不同植被类型 NDVI 时空变化特征[J]. 水土保持研究, 2016, 23(1): 86 - 91. [XI Y T, XU Y, LIU X T. Spatiotemporal changes of different vegetation coverage in Jiangsu Province in the period from 2000 to 2013 [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2016, 23(1): 86 - 91. (in Chinese)]
- [8] 朱林富,谢世友,杨华,等. 基于 MODIS-EVI 的 2000 ~ 2015 年重庆植被覆盖季节变化[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(12): 2146 - 2155. [ZHU L F, XIE S Y, YANG H, et al. Seasonal variation of vegetation coverage based on MODIS-EVI data in Chongqing during 2000—2015 [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(12): 2146 - 2155. (in Chinese)]
- [9] 杨强,王婷婷,陈昊,等. 基于 MODIS EVI 数据的锡林郭勒盟植被覆盖度变化特征[J]. 农业工程学报, 2015, 31(22): 191 - 198. [YANG Q, WANG T T, CHEN H, et al. Characteristics of vegetation cover change in Xilin Gol League based on MODIS EVI data [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(22): 191 - 198. (in Chinese)]
- [10] 赵安周,张安兵,赵延旭,等. 基于 MODIS NDVI 数

- 据的陕甘宁地区植被覆盖时空变化及其对极端气候的响应[J]. 水土保持研究, 2018, 25(3): 224 – 231. [ZHAO A Z, ZHANG A B, ZHAO Y X, et al. Spatiotemporal changes of vegetation in the Shaanxi-Gansu-Ningxia region and response to climatic extremes based on MODIS NDVI data[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(3): 224 – 231. (in Chinese)]
- [11] 党学亚, 卢娜, 顾小凡, 等. 柴达木盆地生态植被的地下水阈值[J]. 水文地质工程地质, 2019, 46(3): 1 – 8. [DANG X Y, LU N, GU X F, et al. Groundwater threshold of ecological vegetation in Qaidam Basin [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2019, 46(3): 1 – 8. (in Chinese)]
- [12] 王欣平, 邵凤变, 毛志红, 等. 基于 MODIS 数据的济南市年最大植被覆盖度动态监测[J]. 地域研究与开发, 2016, 35(1): 150 – 155. [WANG X P, SHAO F L, MAO Z H, et al. Dynamic monitoring of the annual maximum vegetation coverage in Jinan city based on MODIS data [J]. Areal Research and Development, 2016, 35(1): 150 – 155. (in Chinese)]
- [13] 李登科, 范建忠, 权文婷. 陕西省植被退化及其驱动因素分析[J]. 生态学报, 2015, 34(10): 2907 – 2913. [LI D K, FAN J Z, QUAN W T. Analysis of vegetation degradation and its driving factors in Shaanxi Province [J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(10): 2907 – 2913. (in Chinese)]
- [14] 贾宝全. 基于 TM 卫星影像数据的北京市植被变化及其原因分析[J]. 生态学报, 2013, 33(5): 1654 – 1666. [JIA B Q. Driving factor analysis on the vegetation changes derived from the Landsat TM images in Beijing [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(5): 1654 – 1666. (in Chinese)]
- [15] 巴音德乐黑, 包翔, 周梅, 等. 基于 MODIS NDVI 的大兴安岭北坡植被覆盖时空变化特征[J]. 林业资源管理, 2018(6): 50 – 56. [BA Y, BAO X, ZHOU M, et al. Temporal and spatial variation characteristics of vegetation cover on the northern slope of Daxing'anling based on MODIS NDVI [J]. Forest Resources Management, 2018(6): 50 – 56. (in Chinese)]
- [16] 吴昌广, 周志翔, 肖文发, 等. 基于 MODIS NDVI 的三峡库区植被覆盖度动态监测[J]. 林业科学, 2012, 48(1): 22 – 28. [WU C G, ZHOU Z X, XIAO W F, et al. Dynamic monitoring of vegetation coverage in Three Gorges reservoir area based on MODIS NDVI [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2012, 48(1): 22 – 28. (in Chinese)]
- [17] 赵艳霞, 徐全洪, 秦彦杰, 等. 河北省地貌空间信息系统研建初探[J]. 地理空间信息, 2013, 11(3): 85 – 87. [ZHAO Y X, XU Q H, QIN Y J, et al. Establishment of landscape spatial information system in Hebei province [J]. Geospatial Information, 2013, 11(3): 85 – 87. (in Chinese)]
- [18] 李炳元, 潘保田, 韩嘉福. 中国陆地基本地貌类型及其划分指标探讨[J]. 第四纪研究, 2008, 28(4): 535 – 543. [LI B Y, PAN B T, HAN J F. Basic terrestrial geomorphological types in China and their circumscriptions [J]. Quaternary Sciences, 2008, 28(4): 535 – 543. (in Chinese)]