西北林学院学报 2023,38(1):174-180
Journal of Northwest Forestry University

doi:10.3969/j.issn.1001-7461.2023.01.24

基于 MODIS NDVI 的文山州植被覆盖度及景观格局分析

牟禹恒,黄义忠*,梁　睿,魏成国

(昆明理工大学 国土资源工程学院,云南 昆明 650021)

摘　要:以文山壮族苗族自治州为例,利用 2001－2020 年的 MODIS 数据,采用像元二分模型、一元线性回归分析方法,分析文山州的植被时空变化规律,在此基础上对其变异系数进行计算,观察全州 20 a 间的植被变化波动情况,最后对其景观格局进行综合分析。结果表明,2001－2020 年文山州植被覆盖度在时间序列上整体呈增长趋势。在空间上,植被较低覆盖度区和高覆盖度区呈上升趋势,增幅达 44.2%、103.6%;中覆盖度区和较高覆盖区呈下降趋势,降幅分别为 59.2%、46.2%。全州有 84.9%的像元处于稳定程度,整体呈平稳型。文山州在 20 a 间整体景观破碎度呈先减少后增加再减少最终趋于稳定,较高、高植被覆盖度为整个区域的优势区域类型;景观多样性指标在 2011 年达到峰值,说明景观类型在此年最为丰富;聚集度指标在 2020 年最大,说明 2020 年各景观连通性最好;同时,景观类型优势区域也由较高覆盖度区向高覆盖度区转变。

关键词:文山州;植被覆盖度;景观格局

中图分类号:S731.2　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1001-7461(2023)01-0174-07

Analysis of Vegetation Covering and Landscape Pattern in Wenshan Based on MODIS NDVI

MU Yu-heng, HUANG Yi-zhong*, LIANG Rui, WEI Cheng-guo

(*Faculty of Land and Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming* 650021, *Yunnan, China*)

Abstract: MODIS NDVI, as a technique to measure temporal changes of vegetation, can well study the temporal and spatial evolution of regional vegetation coverage. Taking Wenshan Zhuang and Miao Autonomous Prefecture as an example, the temporal and spatial variation of vegetation in the prefecture was analyzed by using MODIS data from 2001 to 2020 and by adopting the binary pixel model and unitary linear regression analysis method. Then the variation coefficient was calculated to observe the fluctuation of vegetation in the prefecture during the past 20 years. Finally, the landscape pattern was analyzed comprehensively. The results showed that the FVC of the prefecture showed an overall increasing trend in time series from 2001 to 2020. Spatially, the low vegetation coverage and high vegetation coverage increased by 44.2% and 103.6%, respectively. The middle coverage area and the high coverage areas decreased by 59.2% and 46.2%, respectively. In the whole prefecture, 84.9% of pixels were stable. The landscape fragmentation decreased firstly, then increased, then decreased, and finally became stable. Higher and high vegetation coverage was the dominant type in the whole region. The index of landscape diversity reached its peak value in 2011, indicating that landscape types were the most abundant in 2011. The aggregation index was the highest in 2020, indicating that the connectivity of all landscapes was the best in 2020. At the same time, the dominant area of landscape type also changed from high coverage area to high coverage area.

Key words: Wenshan Prefecture; vegetation coverage; landscape pattern

收稿日期:2022-01-04　**修回日期**:2022-02-26

基金项目:国家基金地区项目(KKGD201721098)。

第一作者:牟禹恒。研究方向:土地利用规划与保护。E-mail:527830043@qq.com

* **通信作者**:黄义忠,副教授。研究方向:土地管理、地质环境。E-mail:hyizhong@163.com

植被是陆地生态系统中的重要组成部分,也是生物圈中最活跃的一层,对生态系统水循环、气候变化起到相互协调的作用[1]。植被覆盖度是指植被(包括叶、茎、枝)在地面的垂直投影面积占统计区总面积的百分比。植被覆盖度是衡量植被生长情况的标准,很大程度反映了生态环境的总体情况[2]。对于植被覆盖度的测算,早期包括目估法、调查采样法、仪器观测法等。目估法较为直接,但是这种方法具有极强的主观性;调查采样法的优势在于结果较为精确,但存在耗时长、效率低的问题;仪器观测法相对经济,测量结果有较高精度[3]。但随着技术的发展,遥感应用的普及,引入遥感技术作为植被覆盖度的一种测算媒介,是目前较为广泛的应用方法[4],并且在数据获取方面,遥感技术具有一定的时效性,数据类型也较为丰富[5]。归一化植被指数(normalized difference vegetation index,NDVI)即遥感影像中,近红外波段与红光波段的反射值之差比上两者之和,是目前较好地反映植被生长情况的一种指数[6]。近年来,在应用 NDVI 进行不同时空尺度的植被变化和生态环境监测方面,已经开展了大量的研究[7]。栾金凯等[8]基于 MODIS/Terra NDVI 遥感影像数据,对陕西榆林近 17 a 的植被指数进行时空变化及影响因素分析,研究表明其植被覆盖度和气象有着正向关系。阮胜全等[9]基于 MODIS NDVI 数据,反演出静海区 2001—2013 年植被覆盖度,并对其分等定级,进而计算景观格局指数,分析 13 a 间的景观格局空间变化。植被覆盖度影响着生态环境安全、社会经济的发展。本研究利用 NDVI 数据,结合像元二分模型、一元线性回归方法,确定文山州 2001—2020 年的植被覆盖度变化趋势。再通过计算变异系数,观察其 20 a 间的变化波动,最后结合全州景观格局进行综合分析,判断其景观破碎度变化,从而为文山州生态保护及修复、国土空间格局优化提出一定的理论依据。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

文山壮族苗族自治州(以下简称文山州)地处云南省东南部(103°35′—106°11′E,22°24′—24°48′N)。全州辖 1 市 7 县,即文山市、砚山县、西畴县、麻栗坡县、马关县、丘北县、广南县、富宁县。文山州属低纬高原季风气候,大部分地区光热资源丰富,地势起伏较大,海拔 1 000～1 800 m,高低悬殊。受河流切割形成中、低山地。全州兼有北热带、南亚热带、中亚热带、北亚热带、暖温带、温带 6 种气候类型。土壤类型主要分为暗棕壤、棕壤、黄棕壤、黄壤、红壤、赤红壤、砖红壤、石灰岩土、紫色土。其中红壤分布最广,约占全州土地总面积的 75%。全州森林面积 132.67 万 hm^2,森林覆盖率 42.24%。

1.2　研究方法

1.2.1　像元二分法　假设一个像元的信息由土壤和植被组成。通过遥感传感器所观测到的信息 NDVI,就可以表示为:由植被提供的数据表示为 $N_{DVI\,veg}$,由土壤提供的数据表示为 $N_{DVI\,soil}$[10]。

$$F_{VC}=\frac{N_{DVI}-N_{DVI\,soil}}{N_{DVI\,veg}-N_{DVI\,soil}} \tag{1}$$

式中:F_{VC} 代表像元的植被覆盖度,$N_{DVI\,soil}$ 代表的像元信息包含了土壤类型、颜色、湿度等信息,$N_{DVI\,veg}$ 代表的像元信息包含了植被的类型、结构等信息。

本研究将基于像元二分法所计算出来的研究区植被覆盖度划分为 5 个等级(表 1)。

表 1　植被覆盖度等级划分

Table 1　Classification of FVC grades

覆盖度取值范围	等级
0～0.2	低覆盖度区
0.2～0.4	较低覆盖度区
0.4～0.6	中覆盖度区
0.6～0.8	较高覆盖度区
0.8～1	高覆盖度区

1.2.2　一元线性回归分析　一元线性回归趋势线分析是对一组随时间而变化的变量进行回归分析的方法[11]。该方法根据每个像元的变化趋势,来计算植被的绿度变化率[12]。其计算公式如下:

$$S_{lope}=\frac{n\times\sum_{i=1}^{n}i\times N_{DVI\,i}-\sum_{i=1}^{n}i\sum_{i=1}^{n}N_{DVI\,i}}{n\times\sum_{i=1}^{n}i^{2}-(\sum_{i=1}^{n}i)^{2}} \tag{2}$$

式中:n 为研究时间序列长度;i 为第 i 年;$N_{DVI\,i}$ 为第 i 年的 N_{DVI} 值;S_{lope} 为斜率。本研究植被覆盖度趋势变化的 5 个等级分别为明显减小($S_{lope}\leqslant-0.005$)、轻度减小($-0.005<S_{lope}\leqslant-0.002$)、基本不变($-0.002<S_{lope}\leqslant0.002$)、轻度增加($0.002<S_{lope}\leqslant0.005$)、显著增加($S_{lope}>0.005$)。

1.2.3　变异系数相关性分析　通过建立变异系数模型,分析研究区植被覆盖度随时间变化的稳定程度(C_V)。其计算公式如下:

$$C_V=\frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(F_{VC\,i}-\overline{F_{VC}})^{2}}{n-1}}}{\overline{F_{VC}}} \tag{3}$$

式中:$F_{VC\,i}$ 为第 i 年的植被覆盖度;$\overline{F_{VC}}$ 为 n 年 F_{VC} 的平均值[13]。

变异系数反映了数据分布的离散和波动程度,值越大,说明数据的波动较大;反之则说明数据波动

较小[14]。本研究将植被覆盖度波动分为 4 个等级(表 2)。

表 2 植被覆盖度波动分级

Table 2 FVC fluctuation classification

类型	稳定	轻微波动	中等波动	剧烈波动
变异系数	≤0.1	0.1～0.2	0.2～0.3	≥0.3

1.2.4 景观格局分析 景观格局特征指标是反映景观组成结构与空间特征的定量指标,可以有效表达景观格局信息以及分布情况[15]。影响景观空间格局的因素有景观单元的数量、种类、形状及其分布特点等,并随着这些因素的变化而有不同程度的变化[16]。由于景观格局指标较多,对于景观格局指标的划分还未形成统一标准。在不同的景观类型中,斑块类型有着不同的划分方法,划分依据包括斑块面积、群落类型、地形特征、斑块外貌特征、景观类型等。选取表 3 中 9 个指标,对文山州不同植被覆盖度等级的景观格局进行分析,从而揭示不同等级植被覆盖度的空间变异特征。

1.3 数据处理

下载 2001－2020 年共 20 a 的 MOD13Q1(MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid)数据(数据来源:美国国家航空航天局 https://e4ftl01.cr.usgs.gov//DP107/MOLA/,空间分辨率为 250 m,时间分辨率为 16 d),共 460 期影像。运用 Arcgis 软件,将原始 HDF 格式转换为 TIFF 格式,依据文山州行政界线对影像进行掩膜、归一化处理后得到值域在[－1,1]之间的 N_{DVI} 值。按最大值合成法(MVC)合成数据年最大值数据,得到 2001－2020 年共 20 期年最大值 NDVI 影像,最后进行提取归一化植被指数(NDVI)。

2 结果与分析

2.1 植被覆盖度动态变化分析

2.1.1 植被覆盖度时间变化特征 由图 1 可见,文山州 20 a 间植被覆盖度整体呈上升趋势。2007 年相对降幅较大,为 2.9%;增幅最大在 2002 年,为 5.0%;2011 年出现相对明显的下降,降幅为 2.3%,主要是因为文山州正处于城镇化和工业化的加速发展阶段,城镇用地进一步扩张所致。2013 年后,植被覆盖度相对稳定增加。

2.1.2 植被覆盖度空间变化特征 由表 4 可见,2001－2006 年文山州植被低覆盖度区呈先减少后增加再减少的趋势,2020 年总体增长率达 176%;植被较低覆盖度区总体增长率达 44.2%;中覆盖度区整体呈减小趋势,降幅达 59.2%;较高覆盖区整体呈下降趋势,降幅 46.2%;对比 2001 年,2020 年植被高覆盖度区呈大幅度上升,增幅达 103.6%。由图 2 看出,全区植被覆盖水平整体较高,但东西差异明显,西部的砚山县、丘北县、文山市植被覆盖度相对其他区县较低。随着城市化的进展,文山州的城镇化水平明显扩张,导致了低植被覆盖度区面积的增长。

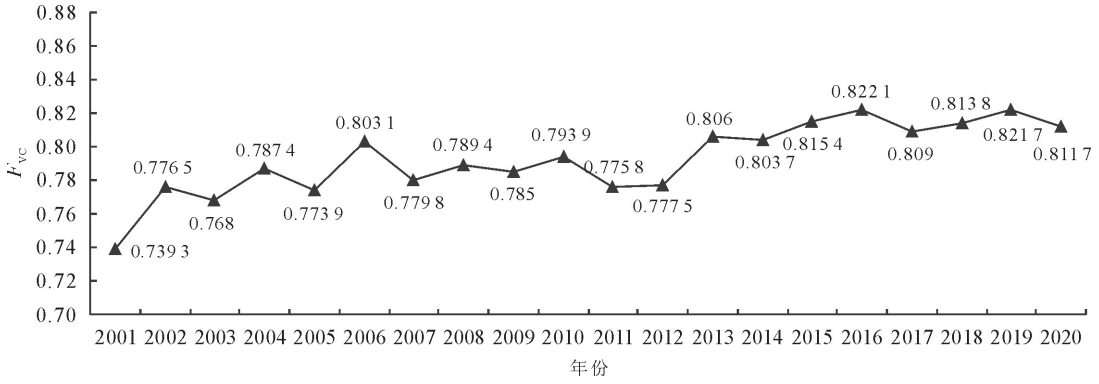


图 1 2001－2020 年文山州年均植被覆盖度变化

Fig. 1 Annual mean FVC changes in Wenshan Prefecture from 2001 to 2020

2.2 植被覆盖度变化趋势及稳定性分析

2.2.1 植被覆盖度时空变化趋势分析 表 5 为文山州 2001－2020 年 N_{DVI} 值随着时间的推移不断变化的一元线性回归分析表。文山州植被覆盖减小的面积为 872.96 km^2,全州 7 989.14 km^2 的地区植被覆盖度呈基本不变趋势;植被覆盖度增加的地区面积为 22 549.53 km^2。回归直线变化率 S_{lope} 值较为集中在 0.002～0.005,由图 3 可见,文山州植被覆盖度平稳增加。

2.2.2 植被覆盖度时空变化稳定性分析 由图 4、表 6 可以看出,文山州 20 a 间植被覆盖度 C_V 值平均为 0.07,＜0.1,整体呈平稳型。全州有 26 660.91 km^2 地区呈平稳趋势,占比 84.88%;剧烈波动型69.93 km^2,其中波动较为严重的是城镇

表 3　反映景观格局的指标及意义

Table 3　Indicators and significance of landscape pattern

景观指标	生态学意义	计算公式
斑块数量(N_P)	反映景观的空间格局,描述整个景观的异质性	—
斑块密度(P_D)	反映出景观整体的异质性与破碎度以及某一类型的破碎化程度	$P_D=\frac{N_P}{A}$ 式中:A 表示所有景观的总面积。
边缘密度(E_D)	用于揭示景观或类型被边界分割的程度,是景观破碎化程度的直接反映	$E_D=\frac{1}{A}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m}p_{ij}$ 式中:p_{ij} 表示景观中第 i 类景观要素斑块与相邻第 j 类景观要素斑块间的边界长度。
斑块面积比例(P_{LAND})	确定景观中优势景观元素的依据之一	$P_{LAND}=\frac{\sum_{j=1}^{n}a_{ij}}{A}\times 100\%$ 式中:a_{ij} 表示第 i 类景观类型中第 j 个斑块的面积。
最大斑块指数(L_{PI})	有助于确定景观的优势类型等,间接反映人类活动干扰的方向和大小	$L_{PI}=\frac{a_{max}}{A}\times 100$　$(0<L_{PI}\leqslant 100)$ 式中:a_{max} 表示景观或某一种斑块类型中最大斑块的面积。
香农多样性指数(S_{HDI})	反映不同景观类型呈现的多样性和复杂性特征	$S_{HDI}=-\sum_{i=1}^{m}(p_i\ln p_i)$ 式中:景观斑块类型 i 所占的比率。
香农均匀性指数(S_{HEI})	反映不同景观类型分配的均匀性	$S_{HEI}=\frac{-\sum_{i=1}^{m}(p_i\ln p_i)}{\ln m}(0\leqslant S_{HEI}\leqslant 1)$ 式中:m 表示景观中的斑块类型总数目;p_i 表示 i 类型斑块所占的面积百分比。
聚合度指数(A_I)	反映了每一种景观类型斑块间的连通性	$A_I=\left[\frac{g_{ii}}{\max\rightarrow g_{ii}}\right](100)$ 式中:g_{ii} 表示相应景观类型的相似邻接斑块数量。
蔓延度指数(C_{ONTAG})	描述景观里不同拼块类型的团聚程度或延展趋势	$C_{ONTAG}=\left[1+\frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{m}\left[(p_i)\left(\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^{m}g_{ik}}\right)\right]\left[\ln(p_i)\left(\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^{m}g_{ik}}\right)\right]}{2\ln(m)}\right](100)$ 式中:g_{ik} 表示 i 类型斑块和 k 类型斑块毗邻的数目。

表 4　2001－2020 年文山州植被覆盖度变化

Table 4　Changes of vegetation coverage in Wenshan Prefecture from 2001 to 2020

植被覆度状态	2001 年		2006 年		2011 年		2016 年		2020 年	
	面积/km²	比例(%)	面积/km²	比例(%)	面积/km²	比例(%)	面积/km²	比例(%)	面积/km²	比例(%)
低覆盖度区	4.8	0.0	0.0	0.0	13.0	0.0	9.6	0.0	13.2	0.0
较低覆盖度区	62.3	0.2	25.8	0.1	146.2	0.5	65.6	0.2	89.8	0.3
中覆盖度区	1 607.3	5.1	274.7	0.9	1 330.8	4.2	349.7	1.1	656.2	2.1
较高覆盖度区	19 960.9	63.5	13 671.7	43.5	16 049.6	51.1	9 433.9	30.0	10 748.1	34.2
高覆盖度区	9 776.4	31.1	17 438.8	55.5	13 872.0	44.2	21 552.9	68.6	19 904.3	63.4

化率较高的地区,受人类活动影响较大,如文山市开化镇、砚山县周那镇、丘北县锦屏镇、丘北县天星乡、广南县莲城镇及其周边地区。

2.2.2　*植被覆盖度时空变化稳定性分析*　由图 4、表 6 可以看出,文山州 20 a 间植被覆盖度 C_V 值平均为 0.07,＜0.1,整体呈平稳型。全州有 26 660.91 km² 地区呈平稳趋势,占比 84.88%;剧烈波动型 69.93 km²,其中波动较为严重的是城镇化率较高的地区,受人类活动影响较大,如文山市开化镇、砚山县周那镇、丘北县锦屏镇、丘北县天星乡、广南县莲城镇及其周边地区。

2.3　植被覆盖度景观格局分析

2.3.1　*总体景观格局分析*　由表 7 可见,文山州 2001－2020 年整体景观破碎度呈先减少后增加再减少的趋势。斑块数量(NP)在 2011 年有较明显的增加,大斑块被分割,小斑块数量不断增多,景观破碎化程度增大。2016－2020 年,斑块数量趋于稳定;最大斑块面积指数(LPI)与斑块数量(NP)呈相同变化趋势,但仍可以看出较高、高植被覆盖度为整个区域的优势区域类型;蔓延度指数(CONTAG)在 2006 年有所增大,说明各级植被覆盖度区间连接性良好,2011 年下降,则反映了景观破碎度较高,各级间的连通性较差,2016年又继续增大,到2020年继

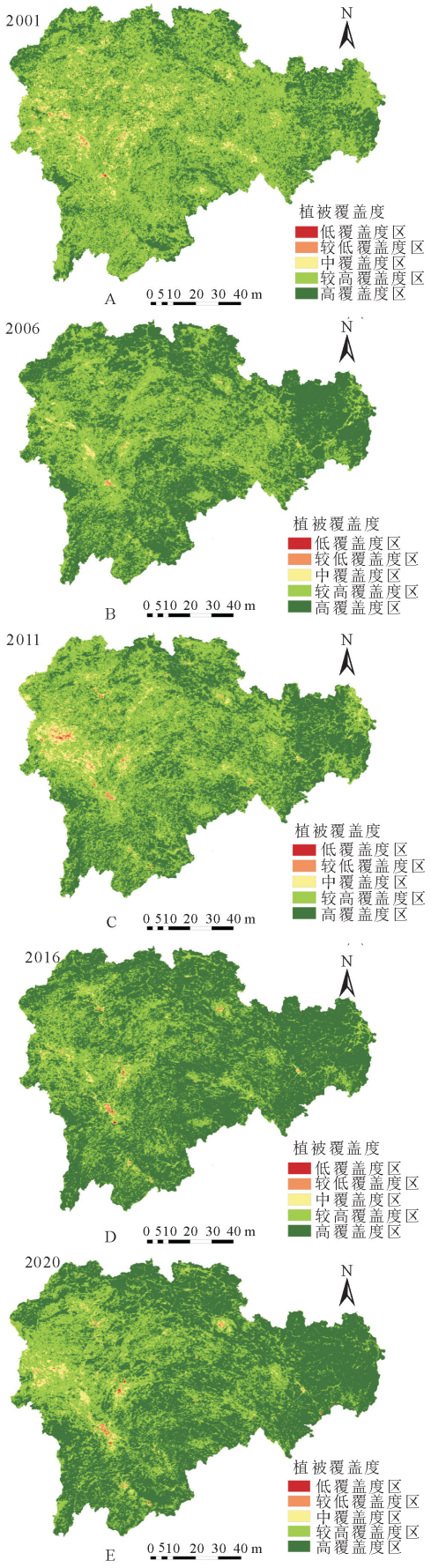


图 2 文山州 2001、2006、2011、2016、2020 年文山州植被覆盖度分级

Fig. 2 Classification map of vegetation coverage in Wenshan Prefecture in 2001, 2006, 2011, 2016 and 2020

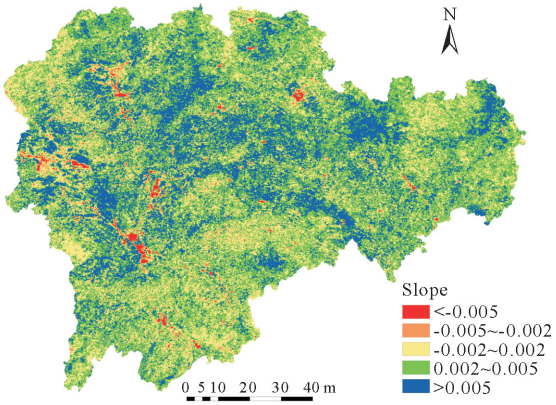


图 3 2001－2020 年文山州植被覆盖度变化趋势

Fig. 3 Change trend of vegetation coverage in Wenshan Prefecture from 2001 to 2020

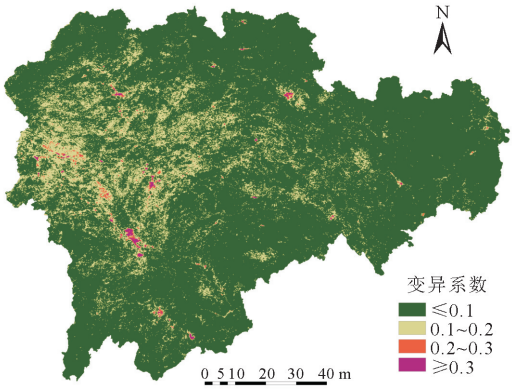


图 4 2001－2020 年文山州植被覆盖度 CV 变异系数空间分布图

Fig. 4 Spatial distribution of CV variation coefficient of Vegetation coverage in Wenshan Prefecture from 2001 to 2020

表 5 2001－2020 年文山州 NDVI 一元线性回归变化分析

Table 5 Unary linear regression change analysis of NDVI in Wenshan Prefecture from 2001 to 2020

回归直线变化率	面积/km²	比例(%)
$S_{lope}<-0.005$	290.0	0.9
$-0.005<S_{lope}<-0.002$	583.0	1.9
$-0.002<S_{lope}<0.002$	7 989.1	25.4
$0.002<S_{lope}<0.005$	14 617.3	46.5
$S_{lope}>0.005$	7 932.3	25.3

表 6 2001－2020 年文山州植被覆盖度 CV 系数统计

Table 6 Statistical table of CV coefficient of vegetation coverage in Wenshan Prefecture from 2001 to 2020

变异系数	变异系数等级	面积/km²	比例(%)
≤0.1	稳定	26 660.9	84.9
0.1～0.2	轻微波动	4 541.5	14.5
0.2～0.3	中等波动	139.3	0.4
≥0.3	剧烈波动	69.9	0.2

表 7　2001－2020 文山州植被覆盖度景观指标变化统计

Table 7　Change statistics of landscape index of vegetation coverage in Wenshan Prefecture from 2001 to 2020

年份	斑块数量	最大斑块指数	边缘密度	蔓延度指数	香农多样性指数	香农均匀性指数	聚合度指数
2001	19 416	61.169 9	22.794 9	54.593 8	0.817 2	0.507 7	73.433 4
2006	11 365	30.085 8	18.255 7	60.582 7	0.736 3	0.457 5	78.695 7
2011	15 851	39.192 3	22.463 7	53.166 5	0.866 2	0.538 2	73.824 3
2016	12 156	63.971 6	17.618 8	62.860 2	0.685 1	0.425 7	79.430 8
2020	12 245	57.642 9	17.132 7	60.311 3	0.756 9	0.470 3	80.002 5

续下降;香农均匀性指数(SHEI)与香农多样性指数(SHDI)发展趋势相同,均在 2011 年达到峰值,说明此间景观类型分布最为均匀;聚集指数(AI)在 2001－2020 年呈先增大再减小又增大的趋势,2020 年达到最大值,说明景观类型由复杂到简单再到复杂的过程。

2.3.2　不同等级景观类型变化分析　对比各年份的不同等级景观特征指标(图 5,表 8),低覆盖度区和较低覆盖度区的 NP 值较小,说明这 2 种等级下的景观破碎度较小,分布也较为集中;2020 年的中覆盖度区和高覆盖度区整体呈下降趋势,说明景观破碎度随时间而减小;而较高覆盖度区的 NP 值增大,说明 20 a 间中覆盖度区的景观破碎度随时间而增大。对比不同等级植被覆盖度的边缘密度,较高覆盖度区的景观边缘密度最大,其次是高覆盖度区,景观边缘密度越大,景观边界越复杂。较高覆盖度区的 ED 值在 2020 年达到最小,ED 指数趋于稳定,说明在环境保护上采取了一定的措施,使边缘密度得到了有效控制。2001－2020 年最大斑块指数(LPI)变化较大,最为明显的高覆盖度区,其次是较高覆盖度区。高覆盖度区 LPI 值减小,较高覆盖度区 LPI 值增大,说明该区域的植被优势类型由较高覆盖度转变为高覆盖度。低覆盖度区的聚合度指数(AI)先减小后增大,说明了低覆盖度区的景观由复杂到你简单再到复杂的过程。AI 值在 2006 年达到最低,说明该年的景观离散度最大,连通性较差。高覆盖度区在 2011 年小幅度下降,但整体呈上升趋势,说明高覆盖度区的连通性随时间而增大,景观也随之变得复杂。较高覆盖度区整体呈下降趋势,其余覆盖度区变化不大。

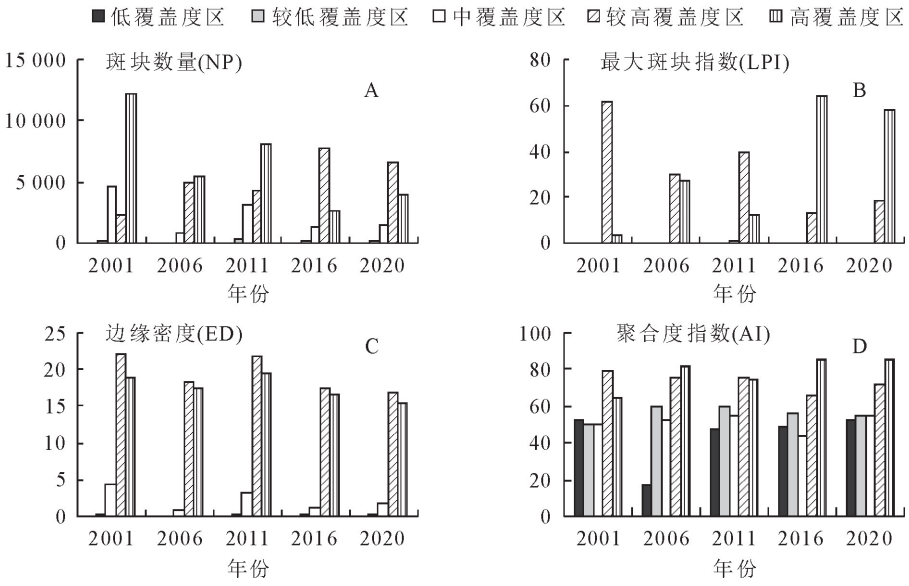


图 5　不同等级植被覆盖度的景观指数变化

Fig. 5　Landscape index changes of different FVC levels

3　结论

1)2001－2020 年文山州植被覆盖度呈增长趋势,全州的植被生长状况有所改善。从空间上看,全区植被覆盖水平整体较高,但东西差异明显,低植被覆盖区和中覆盖度区多集中在西部的砚山县、丘北县、文山市,高覆盖度区多分布在东部的富宁县。

2)根据一元线性回归趋势分析法得出,到 2020 年,全州 71.78% 的像元植被处于改善模式,25.43% 的像元植被状态处于稳定状态,仅有 2.78% 的面积处于退化模式,其中退化较明显的是城镇化率较高的地区,受人类活动影响较大。通过

表8 2001—2020年文山州不同植被覆盖类型的景观斑块特征

Table 8 Characteristics of landscape patches of different grades in Wenshan Prefecture from 2001 to 2020

年份	植被覆盖类型	斑块面积比例	斑块数量	斑块密度	最大斑块指数	边缘密度	聚合度指数
2001	低覆盖度区	0.015 2	18	0.000 6	0.005 0	0.013 9	52.830 2
	较低覆盖度区	0.198 3	214	0.006 8	0.024 6	0.177 3	49.667 1
	中覆盖度区	5.116 8	4 602	0.146 5	0.093 6	4.403 5	50.375 3
	较高覆盖度区	63.546 0	2 310	0.073 5	61.169 9	22.205 2	79.636 4
	高覆盖度区	31.123 6	12 272	0.390 7	3.396 0	18.790 0	64.720 9
2006	低覆盖度区	0.002 1	9	0.000 3	0.000 3	0.003 1	17.647 1
	较低覆盖度区	0.082 0	70	0.002 2	0.034 2	0.060 5	60.043 7
	中覆盖度区	0.874 5	901	0.028 7	0.109 2	0.736 1	51.872 4
	较高覆盖度区	43.524 3	4 980	0.158 5	30.085 8	18.171 9	75.751 4
	高覆盖度区	55.517 1	5 405	0.172 1	26.916 6	17.539 8	81.456 3
2011	低覆盖度区	0.041 5	58	0.001 8	0.006 7	0.040 0	47.356 8
	较低覆盖度区	0.465 4	312	0.009 9	0.129 2	0.331 9	59.760 4
	中覆盖度区	4.236 8	3 133	0.099 7	0.575 6	3.312 2	54.779 5
	较高覆盖度区	51.094 4	4 307	0.137 1	39.192 3	21.880 3	75.079 2
	高覆盖度区	44.161 9	8 041	0.256 0	12.590 2	19.362 9	74.372 5
2016	低覆盖度区	0.030 6	43	0.001 4	0.008 0	0.029 1	48.640 5
	较低覆盖度区	0.208 9	171	0.005 4	0.061 7	0.166 2	55.513 5
	中覆盖度区	1.113 2	1 399	0.044 5	0.038 1	1.086 0	43.776 2
	较高覆盖度区	30.033 0	7 827	0.249 2	13.252 0	17.372 7	66.426 6
	高覆盖度区	68.614 3	2 716	0.086 5	63.971 6	16.583 8	85.787 9
2020	低覆盖度区	0.042 0	50	0.001 6	0.006 3	0.036 6	53.043 5
	较低覆盖度区	0.286 0	211	0.006 7	0.067 7	0.227 4	55.266 4
	中覆盖度区	2.088 9	1 492	0.047 5	0.176 7	1.629 7	55.133 7
	较高覆盖度区	34.216 9	6 523	0.207 7	18.698 0	16.819 8	71.467 1
	高覆盖度区	63.366 1	3 969	0.126 4	57.642 9	15.551 9	85.560 8

对2001—2020年文山州植被覆盖度计算变异系数(C_V),获得文山州20 a间植被覆盖度变异程度,有84.88%的像元处于稳定模式,整体呈平稳型。

3)文山州20 a间整体景观格局水平呈先减小再增大后减小再到基本稳定,斑块数量在2016—2020年间趋于稳定。从最大斑块面积可以看出较高、高植被覆盖度为整个区域的优势区域类型,但植被主要覆盖类型逐渐由较高覆盖度区转向高覆盖度区,2个区域同样是植被类型较为复杂、连通性较好的区域。

参考文献:

[1] 孙倩,石强,刘雪,等.玛纳斯河流域10年间植被时空动态变化研究[J].西南农业学报,2018,31(8):1727-1731.

[2] 胡玉福,邓良基,刘宇,等.基于RS和GIS的大渡河上游植被覆盖时空变化[J].林业科学,2015,51(7):49-59.
HU Y F,DENG L J,LIU Y,*et al*. Temporal and spatial variation of the vegetation coverage in upper Dadu River based on RS and GIS[J]. Scientia Silvae Sinicae,2015,51(7):49-59. (in Chinese)

[3] 丁艳梅,张继贤,王坚,等.基于TM数据的植被覆盖度反演[J].测绘科学,2006(1):43-45,4.

[4] 杨绍锷,廖雪萍,谭裕模,等.广西近十年植被NDVI变化及其对降水的响应特征分析[J].西南农业学报,2013,26(2):766-771.

[5] 闫俊杰,陈晨,赵阳,等.基于TINDVI的伊犁河谷草地覆盖变化[J].水土保持研究,2021,28(3):331-339.
YAN J J,CHEN C,ZHAO Y,*et al*. Dynamics of grassland coverage in Ili River valley based on TINDVI[J]. Research of Soil and Water Conservation,2021,28(3):331-339.

[6] 杨萍,刘雪华.基于SPOT-VGTNDVI的玛纳斯县植被覆盖变化分析[J].干旱区资源与环境,2015,29(2):43-48.
YANG P,LIU X H. Dynamic changes of vegetation coverage in Manas county based on SPOT-VGT NDVI data[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2015,29(2):43-48.

[7] 张家政,闵志强,王得军,等.基于延安市不同植被类型NDVI对气象因子影响及空间异质性[J].西北林学院学报,2021,36(6):55-64.
ZHANG J Z,MIN Z Q,WANG D J,*et al*. Effects of NDVI on meteorological factors and spatial heterogeneity based on different vegetation types in Yan'an City[J]. Journal of Northwest Forestry University,2021,36(6):55-64. (in Chinese)

[8] 栾金凯,刘登峰,黄强,等.近17年陕西榆林植被指数的时空变化及影响因素[J].生态学报,2018,38(8):2780-2790.
LUAN J K,LIU D F,HUANG Q,*et al*. Analysis of the spatial-temporal change and impact factors of the vegetation index in Yulin,Shaanxi Province,in the last 17 years[J]. Acta Ecologica Sinica,2018,38(8):2780-2790. (in Chinese)

[9] 阮胜权,王新广,田风勋.基于MODIS-NDVI的天津市静海区植被景观格局分析[J].测绘与空间地理信息,2020,43(11):106-108.

(下转第272页)

园林,2005(9):14-17.
MAO H S,ZHAN Y. Attention needed for children activity space in city public place[J]. Chinese Landscape Architecture,2005(9):14-17. (in Chinese)

[13] 徐勇,李仓拴,谢小洋,等.陕西关中主要城市观花树种花的观赏性状分析[J].西北林学院学报,2016,31(3):269-274.
XU Y,LI C S,XIE X Y,*et al*. Flower ornamental characters of the flowering tree species in the major cities in central Shaanxi[J]. Journal of Northwest Forestry University,2016,31(3):269-274. (in Chinese)

[14] 王艳,印国成,孙茂圣.最佳游览路线生成方案的设计与实现[J].物联网技术,2015,5,58(12):87-89.

[15] 严海,陈进,贺赫.公众对植物园功能定位和形象认知的初步调查[J].生物多样性,2010,18(5):516-522.
YAN H,CHEN J,HE H. Preliminary investigation on function recognition and image perception in public upon botanical gardens[J]. Biodiversity Science,2010,18(5):516-522. (in Chinese)

[16] 韩丽莹,王云才.服务于城市花园景观的生物多样性设计[J].风景园林,2014,21(1):53-58.
HAN L Y,WANG Y C. The biodiversity design for urban garden landscape[J]. Landscape Architecture,2014,21(1):53-58. (in Chinese)

[17] 李仓拴,刘晖,杨伊婷,等.西北干旱城市破碎化绿地生境的植物群落设计途径研究[J].风景园林,2019,26(2):88-93.
LI C S,LIU H,YANG Y T,*et al*. Plant community design approaches for fragmented green space habitats in northwest China arid cities[J]. Landscape Architecture,2019,26(2):88-93. (in Chinese)

[18] 胡涛.西安城市两类生境花园的设计与实践研究[D].西安:西安建筑科技大学,2015.

[19] CANEDOLI C,MANENTI R,PADOA-SCHIOPPA E. Birds biodiversity in urban and periurban forests:environmental determinants at local and landscape scales[J]. Urban Ecosystems,2018,21(4):779-793.

[20] 谢世林,逯非,曹垒,等.北京城区公园景观格局对夏季鸟类群落的影响[J].景观设计学,2016,4(3):10-21.
XIE S L,LU F,CAO L,*et al*. The effect of landscape patterns on avian communities during summer months in Bejing's urban parks[J]. Landscape Architecture Frontiers,2016,4(3):10-21. (in Chinese)

[21] HUANG Y,ZHAO Y,LI S,*et al*. The effects of habitat area,vegetation structure and insect richness on breeding bird populations in Beijing urban parks[J]. Urban Forestry & Urban Greening,2015,14(4):1027-1039.

[22] MILANO V,MAISTO G,BALDANTONI D,*et al*. The effect of urban park landscapes on soil collembola diversity:a mediterranean case study[J]. Landscape and Urban Planning,2018,180:135-147.

[23] 欧文慧,汪爱玲,王建凯,等.湖北远安县湿地植物多样性及群落数量特征研究[J].湖北林业科技,2021,50(5):48-55.
OU W H,WANG A L,WANG J K,*et al*. Flora and community diversity of wetland plant in Yuan'an,Hubei Province[J]. Hubei Forestry Science and Technology,2021,50(5):48-55. (in Chinese)

[24] 周荣飞,吴友贵,叶珍林,等.百山祖保护区低山常绿阔叶林的群落特征和 α 多样性[J].西北林学院学报,2014,29(3):62-66.
ZHOU R F,WU Y G,YE Z L,*et al*. Community characteristics and species diversity of low-mountain evergreen broad-leaved forest in Baishanzu national nature reserve[J]. Journal of Northwest Forestry University,2014,29(3):62-66. (in Chinese)

[25] 任启飞,龙成昌,周庆,等.浅析园林水景中水生植物的生态配置[J].现代园艺,2018(18):129.

[26] 张扬,许文超,史洁婷,等.园林花境的设计要点与植物材料的选择[J].生态经济,2015,31(3):191-195.
ZHANG Y,XU W C,SHI J T,*et al*. The designing approach and selection of the plants in bloom scenery[J]. Ecological Economy,2015,31(3):191-195. (in Chinese)

(上接第180页)

[10] 张成才,娄洋,李颖,等.基于像元二分模型的伏牛山地区植被覆盖度变化[J].水土保持研究,2020,27(3):301-307.

[11] 刘立文,徐立帅,段永红,等.晋城市植被覆盖时空变化与地形效应耦合[J].测绘与空间地理信息,2021,44(8):1-6,11.

[12] 陈学兄.基于遥感与GIS的中国水土流失定量评价[D].陕西杨陵:西北农林科技大学,2013.

[13] 王思琪.基于Landsat和MODIS NDVI时序数据的黄河源植被覆盖度提取和变化分析[D].北京:中国地质大学,2020.

[14] 崔珍珍,马超,陈登魁.1982—2015年科尔沁沙地植被时空变化及气候响应[J].干旱区研究,2021,38(2):536-544.
CUI Z Z,MA C,CHEN D K. Spatiotemporal variation of vegetation in the Horqin sandy land and its response to climate change from 1982－2015[J]. Arid Zone Research,2021,38(2):536-544. (in Chinese)

[15] 罗楠,胡金龙,王影雪.典型旅游区景观格局演变研究——以广西阳朔县为例[J].西北林学院学报,2020,35(3):250-257.
LUO N,HU J L,WANG Y X. Landscape pattern evolution of typical tourism area:a case study of Yangshuo of Guangxi[J]. Journal of Northwest Forestry University,2020,35(3):250-257. (in Chinese)

[16] 全志杰,褚泓阳,黄林,等.杨陵农科城景观空间格局动态变迁的遥感研究[J].西北林学院学报,1997(3):77-82.