引文格式：孙永康. 雅安市植被覆盖度时空变化与驱动力分析[J]. 地理空间信息, 2023, 21(5): 59-62. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023. 05.014

雅安市植被覆盖度时空变化与驱动力分析

孙永康[1]
（1. 江苏省地质测绘院，江苏 南京 211102）

摘　要：以2005—2020年遥感影像为数据源，采用像元二分法计算得到雅安市植被覆盖度，并结合DEM和气象数据，通过趋势分析、地理探测器和变异指数分析了不同海拔带、坡度带、坡向、降水和气温下植被覆盖度的时空变化特征和波动程度，探讨了影响植被覆盖度的主要因子。结果表明：①雅安市2005—2020年植被覆盖度一直呈上升趋势，且植被覆盖度较高；②植被覆盖度波动小，受外界环境影响小，植被生态环境稳定；③植被覆盖度整体得到改善的面积比例远大于退化；④海拔对植被覆盖度变化的解释力最强，交互作用以非线性增强为主，其中海拔和坡度的叠加作用最大。

关键词：植被覆盖度；时空变化；影响因子；雅安市
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）05-0059-04

Spatio-temporal Changes and Driving Force Analysis of Vegetation Coverage in Ya'an City

SUN Yongkang[1]
(1. Jiangsu Geologic Surveying and Mapping Institute, Nanjing 211102, China)

Abstract: Taking the remote sensing images from 2005 to 2020 as the data source, we calculated the vegetation coverage of Ya'an City by the pixel dichotomy method, combining with DEM and meteorological data, used the trend analysis, geographical detector and variation index to analyze the spatio-temporal change characteristics and fluctuation degree of vegetation coverage under different altitude zones, slope zones, slope aspects, precipitation and air temperature, and discussed the main influencing factors of vegetation coverage. The results show that ①from 2005 to 2020, the vegetation coverage in Ya'an City has been on an upward trend, and it is relatively high. ②The vegetation coverage fluctuates little, is less affected by the external environment, and the vegetation ecological environment is stable. ③The overall improvement of vegetation coverage is far greater than that of the degraded area. ④The altitude of Ya'an City has the strongest explanatory power for the vegetation coverage changes, the interaction is mainly nonlinear enhancement, and the superposition effect of altitude and slope is the largest.

Key words: vegetation coverage, spatio-temporal change, influencing factor, Ya'an City

随着城市面积和人口的不断增加，城市生态环境问题日益严重，城市绿化建设规划和生态环境修复不断受到各界人士的关注[1]。植被是重要的地表覆盖类型，在生态系统能量循环和自然界物质转换中扮演着重要角色[2]，对生态环境变化具有敏锐响应。归一化植被指数（NDVI）作为应用范围最广、检测结果精确度较好、可靠性较大的最佳指标，也是监测植被生长质量和覆盖度的最佳指标[3-4]，因此可利用NDVI量化植被覆盖度（FVC），反映陆地生态系统的变化情况。FVC是衡量地表植被健康程度的重要指标，也是监测和评价陆地生态系统的重要参数[5-6]。地表植被变化的驱动力主要包括气候因子、地形因子、人类活动和生物因子等[7]。穆少杰[8]、李珍[9]等采用相关性分析法分析降水和温度对地表植被变化的影响发现，水热组合的共同作用大于单一气候因子影响，且影响程度存在显著的空间差异；田地[10]、韦海航[11]等引入海拔、坡度、地貌等因素定性分析地形对植被变化的影响发现，地形因子对地表FVC的时空特征影响显著；张心茹[12]、谢楠[13]等在研究FVC时空变化时，将人类活动作为一个重要的影响因子引入其中，结果表明人类活动对FVC变化有不容忽视的影响力。综上所述，不同研究区影响FVC的因素各不相同，主导因素也具有较大差异性。

雅安市南北气候差异显著，降雨较多，素有“雨城”之称，FVC普遍较高。国内一些学者对雅安市的FVC展开了研究，如陈家良[14]等利用相关性分析揭示

收稿日期：2022-02-21；修回日期：2022-05-07。
项目来源：2020年江苏省地质矿产勘查局科研资助项目（2020KY11）。
作者简介：孙永康（1990—），工程师，研究方向为测绘工程，E-mail：sykxh@sina.com。

了地形因子对雅安市FVC的影响；方从刚[15]等基于ETM影像，探讨了雅安市雨城区3类植被指数在土地利用中的特征。学者们从地形因子、土地利用等角度研究了雅安市的FVC，然而影响FVC的因子众多，其显著差异的气候特征也是影响FVC的重要影响因子，应综合各影响因子探讨其与雅安市FVC的联系。本文基于雅安市2005—2020年遥感影像MODIS数据计算得到NDVI，利用像元二分模型提取FVC，研究雅安市FVC16年的时空变化特征和波动程度[16]；再通过地理探测器的定量化归因方法，分析了降水、温度、海拔、坡度和坡向5种驱动因子与FVC的联系，并定量探讨了各影响因子对FVC的影响程度，为雅安市后期水土保持工作提供一定理论支撑。

1 研究区概况与数据来源

雅安市位于我国四川盆地的西部边缘，全市幅员轮廓成长条形，属亚热带季风性湿润气候，地貌虽以山地为主，但大多海拔在1 500 m以下，相对高度多在1 000 m以内，总体森林覆盖率超过69%。

本文采用的数据主要来源于中科院环境资源科学与数据中心、地理空间数据云、国际科学数据服务平台、美国国家航空航天局，主要为雅安市2005年1月—2020年12月的MODIS影像数据、DEM（90 m分辨率）影像以及降水和温度的月统计数据。对所有数据进行预处理、插值和计算。首先利用MODIS数据计算得到NDVI，再计算得到FVC，然后利用薄盘光滑样条函数将降雨与温度统计数据插值为栅格数据，最后将计算得到的所有栅格数据统一重采样为1 km分辨率，采用最大合成法合成2005—2020年FVC、降水和温度年度值。

2 研究方法

2.1 FVC计算

本文基于NDVI，采用像元二分法反演FVC。NDVI的提取公式为：

$$\mathrm{NDVI}=\frac{\mathrm{NIR}-R}{\mathrm{NIR}+R} \tag{1}$$

式中，NIR为近红外地表反射率；R为红光波段地表反射率。

利用NDVI依据像元二分原理推求FVC，计算公式为：

$$\mathrm{FVC}=\frac{\mathrm{NDVI}-\mathrm{NDVI}_{soil}}{\mathrm{NDVI}_{veg}-\mathrm{NDVI}_{soil}} \tag{2}$$

式中，NDVI_{soil}为裸土或无植被覆盖区域的NDVI值；NDVI_{veg}为植被完全覆盖区域的NDVI值。由于NDVI_{soil}、NDVI_{veg}受大气、地形、时间和空间等因素影响，一般采取置信度范围内的最大值和最小值。在没有实测数据的情况下，根据NDVI的灰度值统计情况，采用置信区间5%和95%作为上下限取阈值分别代表NDVI_{soil}、NDVI_{veg}。

2.2 变化趋势计算

以时间为自变量，以年际FVC为因变量，采用最小二乘法逐像元进行线性回归拟合，获取2005—2020年像元FVC变化趋势。具体计算公式为：

$$\mathrm{slope}=\frac{n\sum_{i=1}^{n}i\mathrm{FVC}_i-\sum_{i=1}^{n}i\sum_{i=1}^{n}\mathrm{FVC}_i}{n\sum_{i=1}^{n}i^2-(\sum_{i=1}^{n}i)^2} \tag{3}$$

式中，slope为年际变化率；n为年数；FVC_i为第i年像元的FVC值。

当slope>0时，表示该像元在研究时段内FVC呈增长趋势；反之，则呈减少趋势。采用F检验对FVC的年际趋势变化进行显著性检验，计算公式为：

$$F=\sum_{i=1}^{n}(\widehat{\mathrm{FVC}_i}-\overline{\mathrm{FVC}_i})^2\times\frac{n-2}{\sum_{i=1}^{n}(\mathrm{FVC}_i-\widehat{\mathrm{FVC}_i})^2} \tag{4}$$

式中，$\widehat{\mathrm{FVC}_i}$为研究区第i年FVC的回归值；$\overline{\mathrm{FVC}_i}$为FVC的年际平均值；$n$为年数。

将FVC变化趋势结果按照李晶[17]等提出的方法分为4个等级，如表1所示。

表1 显著性检验结果分级

变化趋势	变化率	显著性水平
显著减少	slope<0	α>0.05
不显著减少		α<0.05
显著增加	slope>0	α>0.05
不显著增加		α<0.05

2.3 变异系数

变异系数能反映时间序列数据的波动特征[18]，用以分析FVC变化的稳定性，计算公式为：

$$C_V=\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(\mathrm{FVC}_i-\overline{\mathrm{FVC}})}}{\frac{n-1}{\overline{\mathrm{FVC}}}} \tag{5}$$

式中，C_V为变异系数；$\overline{\mathrm{FVC}}$为n年的FVC均值；n为年数。C_V越小，表明数据分布越集中，稳定性越强；反之，数据波动性越大，越不稳定。

2.4 地理探测器分析

2.4.1 数据离散化处理

地理探测器分析需对数据进行离散化处理。本文

需要分级的指标为FVC、年均降水量、年均温度、海拔、坡度和坡向。参照《土壤侵蚀分类分级标准》将FVC分为5个等级[19]，年均降水量、年均温度、海拔和坡度则采用自然断点法分级。FVC、年均降水量、年均温度、海拔、坡度均分为1~5级，分别对应低、中低、中、中高、高。参照吴思佳[20]等的划分标准，将坡向分为5级。

2.4.2　地理探测器计算

本文利用地理探测器中的因子探测器和交互探测器来研究植被驱动力以及多因子交互作用[21]。因子探测器主要探测不同环境因子对FVC空间分异的影响大小，q值越高，影响力越大，表达式为：

$$q=1-\frac{\sum_{h=1}^{L}N_h\sigma_h^2}{N\sigma^2}=1-\frac{\mathrm{SSW}}{\mathrm{SST}} \tag{6}$$

$$\mathrm{SSW}=\sum_{h=1}^{L}N_h\sigma_h^2 \tag{7}$$

式中，h为FVC影响因子的分类或分区；N_h、N分别为h层和全区的单元数；σ_h、σ分别为h层和全区值的方差；SSW为层内方差之和；SST为全区总方差。q的值域为[0,1]。

交互探测器主要是识别不同因子间的交互作用。首先分别计算两种影响因素X_1、X_2对Y的q值，并计算它们交互时的q值；再比较三者q值的大小，结果见表2。

表2　交互探测器判断依据

判断依据	交互作用
$q(X_1\cap X_2)<\min(q(X_1),q(X_2))$	非线性减弱
$\min(q(X_1),q(X_2))<q(X_1\cap X_2)<\max(q(X_1),q(X_2))$	单因子非线性减弱
$q(X_1\cap X_2)>\max(q(X_1),q(X_2))$	双因子增强
$q(X_1\cap X_2)=q(X_1)+q(X_2)$	独立
$q(X_1\cap X_2)>q(X_1)+q(X_2)$	非线性增强

3　研究结果与分析

3.1　FVC时空特征

首先提取雅安市2005—2020年的FVC，再采用最大合成法合成16 a年均FVC分布。FVC范围为0.058~1，均值为0.92，结果表明雅安市总体FVC较高，再将其细分为5类，其中低植被覆盖度占全域的0.99%，中低植被覆盖度占全域的2.47%，中植被覆盖度占全域的5.97%，中高植被覆盖度占全域的29.67%，高植被覆盖度占全域的60.90%，FVC总体呈上升趋势；低植被覆盖度占比最小，仅存在于边缘一小部分区域，高植被覆盖度占比最大，其次是中高植被覆盖度，二者几乎涵盖了全域。因此，雅安市FVC空间特征是从中心向两边递减。

变异系数值表示一个地区内FVC的波动程度，以此判断该地区的生态环境脆弱程度。雅安市FVC的变异系数在0~0.011之间，均值为0.003，趋近于零，说明FVC属于低波动变化，受外界环境影响较小，植被生态环境稳定。

3.2　FVC变化趋势分析

雅安市FVC趋势变化值在−0.044~0.026之间，均值为0.03，再一次证实FVC变化趋势较小。根据变化趋势值，FVC减少面积为4 943.64 km^2，占全域的32.86%；增加面积为10 102.36 km^2，占全域的67.14%，正值区域大于负值区域，说明近16 a雅安市植被覆盖有改善趋势。

对变化趋势值进行显著性检验发现，FVC显著增加的面积占比为58.03%，不显著增加的面积占比为9.11%，显著减少的面积占比为16.41%，不显著减少的面积占比为16.45%，总体而言，雅安市FVC得到改善的面积比例远大于退化。

3.3　气候、地形因子对FVC的影响

对雅安市5个影响因子进行分级，并统计每个等级内的FVC值，计算其平均值。年均降水5个等级对应的FVC均值分别为0.90、0.96、0.93、0.95、0.87；年均温度5个等级对应的FVC均值分别为0.88、0.92、0.95、0.96、0.89；海拔5个等级对应的FVC均值分别为0.89、0.96、0.95、0.92、0.88；坡度5个等级对应的FVC均值分别为0.93、0.87、0.94、0.94、0.96；坡向5个等级对应的FVC均值分别为0.00、0.95、0.96、0.90、0.93。当降水增加、温度升高时，FVC会随之升高，但到达临界值后就会随之降低，这是由于过高的降水量和温度，不利于植被生长。当海拔升高时，FVC会随之升高，到达临界值后就会随之降低，这是由于海拔高与海拔低的地区适合生长的植被不同，且当海拔达到一定高度后，气温较低、降水量减少，影响植被生长。低海拔地区FVC低，这是由人类活动频繁所导致的；坡度低的地区FVC低，也是由人类活动所导致的。雅安市没有−1°的地区，因此没有书面上的平地；阳坡的FVC最低，半阳坡的FVC最高，这是由于半阳坡的日照时间、光热条件、降水充足，地理条件更利于植被生长。

3.4　地理探测器分析

利用地理探测器对影响因子进行探测分析，由各因子对FVC空间分异影响结果可知，各因子对FVC的

影响程度排序为海拔（0.219）>降水（0.170）>温度（0.161）>坡度（0.135）>坡向（0.131）。

交互探测结果显示，5个影响因子两两交互作用均会增加对FVC变化的解释力，其中海拔和坡度的叠加作用最大，即海拔∩坡度（q值为0.443）对雅安市FVC变化的解释力最强，其次为坡度∩降水（q值为0.435）、坡向∩温度（q值为0.405）、降水∩温度（q值为0.401）。海拔和降水、海拔和温度为双因子增强，说明海拔和降水、海拔和温度对FVC变化具有相辅相成的作用，其余为非线性增强。两两交互均对FVC变化的解释力增强，说明影响因子间也具有一定的促进作用。

4 结 语

本文以雅安市为研究对象，基于2005—2020年遥感影像，利用像元二分模型提取FVC，采用最大合成法合成2005—2020年FVC，并通过趋势分析和变异系数研究了FVC的时空变化特征和波动程度；然后通过地理探测器的定量化归因方法，分析了降水、温度、海拔、坡度和坡向5个驱动因子与FVC的联系，并定量探讨了各影响因子对FVC的影响程度。

1）雅安市2005—2020年的FVC一直呈上升趋势，整体FVC较高，且市中心至边缘FVC呈递减趋势。

2）从趋势分析和变异系数来看，雅安市FVC年度变化趋势较小，说明该市FVC属于低波动变化，受外界环境影响较小，植被生态环境稳定。

3）近16 a雅安市植被覆盖有改善趋势，FVC整体得到改善的面积比例远大于退化。

4）根据地理探测器，各因子对FVC的影响程度排序为海拔>降水>温度>坡度>坡向。交互探测结果显示，5个影响因子两两交互作用均能增加对FVC变化的解释力，其交互作用以非线性增强为主，其中海拔和坡度的叠加作用最大，即海拔∩坡度（q值为0.443）对雅安市FVC变化的解释力最强。

参考文献

[1] 孙与襄，麦麦提吐逊·麦麦提，马合木江·艾合买提，等. 1995-2020年喀什市植被覆盖度时空动态变化研究[J]. 中国农村水利水电，2022(1):71-78

[2] 杨辰丛海. 2000-2021年平和县植被覆盖度变化及其地形驱动因子分析[J]. 浙江农业科学，2021，62(8):1 625-1 628

[3] 秦艳，丁建丽. 1961-2016年中国天山不同级别降雪事件变化特征分析[J]. 水科学进展，2019，30(4):457-466

[4] 马伟东，刘峰贵，周强，等. 1961-2017年青藏高原极端降水特征分析[J]. 自然资源学报，2020，35(12):3 039-3 050

[5] 何清芸，牟凤云，李秋彦，等. 重庆植被覆盖度时空演变及驱动力地理学探究[J]. 科学技术与工程，2021，21(28):11 955-11 962

[6] 杜华栋，宁本燕，拜梦童，等. 1990-2019年榆神府矿区不同地貌植被覆盖度变化及驱动力探究[J]. 林业资源管理，2021(5):121-130

[7] 王泽辉. 九江市植被覆盖时空动态变化及驱动力因子分析[D]. 成都:四川师范大学，2017

[8] 穆少杰，李建龙，陈奕兆，等. 2001-2010年内蒙古植被覆盖度时空变化特征[J]. 地理学报，2012，67(9):1 255-1 268

[9] 李珍，王永波，牟乃夏，等. 1998-2019年青岛市植被覆盖度规律及对气候变化的响应[J]. 湖南师范大学自然科学学报，2022，45(1):101-109

[10] 田地，张厚喜，刘政，等. 地形因子对长汀县植被覆盖度时空特征的驱动影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版)，2019，48(6):796-802

[11] 韦海航，周春国，郑芊卉，等. 湖北竹山县植被覆盖度与地形因子的空间关系分析[J]. 人民长江，2019，50(3):78-83

[12] 张心茹，曹茜，季舒平，等. 气候变化和人类活动对黄河三角洲植被动态变化的影响[J]. 环境科学学报，2022，42(1):56-69

[13] 谢楠. 陕西省植被覆盖度变化对气候变化与人类活动的双重响应[D]. 西安:长安大学，2021

[14] 陈家良，夏建国，余雨红. 基于RS和GIS的雅安市植被覆盖度与地形因子相关分析[J]. 安徽农业科学，2020，48(5):88-92

[15] 方从刚，邓良基，胡玉福，等. 基于ETM影像的植被指数在土地利用中的特征:以雅安市雨城区为例[J]. 长江流域资源与环境，2006，15(A01):41-45

[16] 董佳慧，陈涛，王西平. 康保县1987-2016年植被覆盖度动态变化分析[J]. 地理空间信息，2020，18(2):99-102

[17] 李晶，刘乾龙，刘鹏宇. 1998-2018年呼伦贝尔市植被覆盖度时空变化及驱动力分析[J]. 生态学报，2022，42(1):220-235

[18] 刘宪锋，潘耀忠，朱秀芳，等. 2000-2014年秦巴山区植被覆盖时空变化特征及其归因[J]. 地理学报，2015，70(5):705-716

[19] 吕丹红，姜琦刚，王德军，等. Landsat数据的植被覆盖估算和景观格局分析[J]. 测绘科学，2018，43(11):157-164

[20] 吴思佳，吴伟，陈文惠，等. 基于地理探测器的闽三角城市群植被覆盖时空变化及影响因素研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版)，2019，35(5):81-88

[21] 王劲峰，徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报，2017，72(1):116-134