

呈贡区近 30 年植被覆盖度时空变化特征与土地利用驱动

杨旭超¹, 张军¹, 李杰¹, 劳洁英², 吴志娟³

(1. 云南大学 资源环境与地球科学学院, 昆明 650504;

2. 昆明市土地开发整理中心, 昆明 650504; 3. 云南省地矿测绘研究院, 昆明 650504)

摘要:以 1990—2018 年 Landsat 数据为基础, 辅以像元二分法、小波分析、趋势分析、面向对象最近邻分类法等, 探究呈贡区植被覆盖时空分布、趋势变化、空间波动特征及与土地利用关系。时间上, 呈贡区 FC 呈缓慢增长态势, 主要存在 14, 7 a 共 2 个变化周期控制着 FC 在整个时间域内的变化特征。空间上, 呈贡区整体呈现外围 FC 较高, 并向中部区域递减的特征。区域高植被覆盖区域占 71.92%, 植被整体较好。植被改善面积占 39.02%, 退化面积占 25.52%, 改善区域主要位于呈贡东部山区。中部约占总面积 2/3 的区域为中高态势波动变化。FC 较高和改善地区主要位于现呈贡区东部林地; 高波动变化为中部耕地、裸地转为建设用地和林地区域。转换为林地主要由裸地、耕地和建设用地构成, 其中裸地转换比例达 25.94%; 高达 31.14% 的建设用地及 26.93% 的耕地转换为裸地。

关键词: 植被覆盖; 土地利用; 遥感; 呈贡区

中图分类号: TP79; Q948; F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)04-0232-07

Temporal and Spatial Variation Characteristics of Vegetation Coverage and Land Use Driving in Chenggong District in Recent 30 Years

YANG Xuchao¹, ZHANG Jun¹, LI Jie¹, LAO Jieying², WU Zhijuan³

(1. *Department of Environment and Resources, Yunnan University,*

Kunming 650504, China; 2. Kunming Land Development and Consolidation Center,

Kunming 650504, China; 3. Yunnan Institute of Geology and Mineral Surveying, Kunming 650504, China)

Abstract: Based on the Landsat data from 1990 to 2018, pixel dichotomy, wavelet analysis, trend analysis, and object-oriented nearest neighbor classification, the temporal and spatial distribution, trend variation, spatial fluctuation characteristics and land use of vegetation cover in Chenggong District were explored. With respect to the time scale, the FC in Chenggong District showed a slow growth trend, and there were mainly two periods of change in 14 years and 7 years to control the variation characteristics of FC in the whole time domain. With respect to spatial scale, the Chenggong District as a whole presented a feature that the peripheral FC was higher and decreased toward the central region. The area with high vegetation coverage accounted for 71.92%, and the overall vegetation was better. The area of vegetation improvement accounted for 39.02%, and the degraded area accounted for 25.52%. The improvement area was mainly located in the eastern mountainous area of Chenggong District. The central part of the area of about 2/3 of the total area was fluctuating in the middle and high. The higher and improved areas of FC were mainly located in the eastern forest land of the present Chenggong District; the high fluctuation change was observed in the central cultivated land, the bare land converted into the construction land and the forest land area. The bare land, cultivated land and construction land were mainly converted into forest land, of which the proportion of converted bare land was 25.94%; up to 31.14% of construction land and 26.93% of cultivated land were converted into bare land.

Keywords: vegetation cover; land use; remote sensing; Chenggong District

当前,受人类活动以及气候变暖等因素影响,生态退化已发展成为全球环境变化的主要问题,受到各国政府及科学部门高度关注^[1]。植被是陆地生态系统重要组成部分,可将土壤、大气和水分等自然过程进行连接,并在物质循环、能量流动和信息传递等方面均发挥着重要作用^[2]。同时,其还具有截留降雨、保土固土等功能,是土壤侵蚀与水土流失的主要监测因子,对于区域生态退化具有实时客观的指示效果^[3]。植被状况的好坏,主要通过植被覆盖度(FC)来表示。FC作为区域气候模型、水土流失监测、土地沙漠化评价和分布式水文模型的重要因子,是反映地表植被分布特征和描述生态系统的重要参数,具有明显的季候和年际变化特征,通过监测其空间分异及演化趋势将对区域生态环境变化具有重要指示意义。

传统的植被覆盖度研究方法受测量条件限制,主要以野外实地测量为主,包括目估法、采样法、仪器测量法及模型法等。而大区域的植被覆盖监测更需建立在多光谱、多时相和多尺度的遥感数据基础上。近年来,随着对地观测系统的发展,国内外诸多学者基于遥感手段,在植被监测领域进行了大量研究,探索出许多监测方法。如罗亚等^[4]对模型法、植被指数法和混合像元分解模型法进行了具体研究。像元二分模型是一种简单的混合像元分解模型,其不需依赖实测数据,模型计算简单可靠、输入参数通用易得,被广泛应用于区域尺度上植被覆盖动态变化及空间格局特征等研究中。如肖强^[5]、廖清飞^[6]、李杰^[7]、李钰激^[8]等学者分别以黄土高原、青海省东部、云南怒江、中国北方等地区为研究区,对其植被覆盖时空演变遥感监测与分析。

纵观国内外,目前在植被覆盖度领域的研究多是采用大面积、低分辨率的遥感时序数据,如黄森旺等^[9]基于GIMMS AVHRR-NDVI数据和气象数据分析了三北防护林工程区25年的土地退化情况,Piao等^[10]基于SPOT VGT-NDVI和MODIS-NDVI数据分析了欧亚大陆温带和北极地区植被生长趋势的变化;对于中高分辨率的卫星数据的研究主要以Landsat系列遥感数据,但研究较少。上述研究为研究区域今后土地开发利用、环境保护治理等提供有用信息,但其均采用典型年份或等间距年份的数据,并未采用逐年的时序数据,这使得研究内容存在一定局限性^[11]。

在云南省委、省政府建设“现代新昆明”的战略背景下,昆明市呈贡县自2011年7月8日撤县设区,更名为呈贡新区。近年来,该区抢抓世界经济形势好转和“一带一路”建设新机遇,生态建设牢固树立“绿水青山就是金山银山”的发展理念,严守生态划定红线,确保森林覆盖率达39%以上。因此,关注呈贡区植被时空演化特

征、评估未来发展趋势,对区域生态建设具有重要的实践意义。贺晋云等^[12]研究表明,近50多年我国西南地区的干旱灾害发展具有面积增大和频率增大的趋势,研究区所处的滇东高原腹地正好位于该范围内,气候变化导致极端天气和气象灾害的频发,势必会对呈贡区生态环境产生严重影响。鉴于此,本文以呈贡区1990—2018年Landsat TM/ETM/OLI等数据为研究对象,采用小波分析、趋势分析、变异系数、灰度预测等方法,探讨研究区植被覆盖的时空格局、演化规律;此外,结合Sentinel-2A数据,进行土地覆盖信息提取,以获取研究区首尾时段的土地覆盖类型空间分布图,构建2000—2017年研究区土地利用转移矩阵,在植被覆盖变化大格局下对土地转移以及植被变化信息进行分析。通过此以期为区域可持续发展、生态修复工程规划以及生态环境保护提供科学依据。

1 研究区概况

作为“现代新昆明”建设示范区,呈贡区于2011年7月8日撤县设区,更名为“呈贡新区”,隶属云南省昆明市,同时也是昆明市政府驻地^[13]。呈贡区位于滇东高原腹地,滇池东岸,位于 $102^{\circ}45'—103^{\circ}00'E$, $24^{\circ}42'—25^{\circ}00'N$,土地总面积为 461 km^2 ,下辖10个街道办事处,65个社区居委会。地势东高西低,海拔为 $1\,743\sim 2\,768\text{ m}$ (图1)。属低纬度高原季风气候,年平均日照时数 $2\,200\text{ h}$,年均温度 14.7°C ,年平均降水量 789.6 mm 。

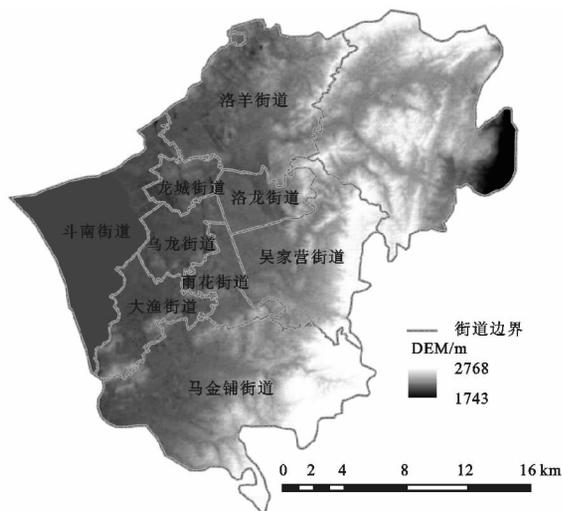


图1 呈贡区位置示意图

2 数据与研究方法

2.1 数据源与预处理

基于本研究时间尺度为29 a(1990—2018年),影像数据采用美国航空航天局(NASA)提供的1990—2018年逐年的Landsat数据(表1),空间分辨率为 30 m ,平均云量均低于5%,数据质量良好,根据

数据的可获得性,尽量挑选 3—5 月为研究时相,该时段为植被的主要生长季,使其具有可比性,以满足研究需求;此外,鉴于 Sentinel-2A 数据在空间分辨率及光谱信息等方面均优于 Landsat 数据,故选用 2018 年 Sentinel-2A 数据(数据来源: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>)进行研究区土地利用信息的提取。地形数据选用 NASA(<http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/>)提供的 GDEM V2 30 m DEM 数据,探究研究区植被覆盖空间分布的高程差异。为提高研究的可靠性,根据 2018 年 3 月的实地考察,并结合 Google Earth 1990 年 12 月历史数据,实现了 2018 年和 1990 年地类样本点的数据采集。

表 1 研究区遥感影像获取情况

传感器	获取日期 (年-月-日)	ID	用途	传感器	获取日期 (年-月-日)	ID	用途			
TM	1990-01-05	LT51290431990015BKT00	提取研究 区 NDVI, 用于像元 二分法中 植被覆盖 度的获取	TM	2007-04-20	LT51290432007110BJC00	提取研究 区 NDVI, 用于像元 二分法中 植被覆盖 度的获取			
	1991-02-19	LT51290431991050BKT00			2008-04-06	LT51290432008097BKT00				
	1993-11-07	LT51290431993311BKT00			2009-02-04	LT51290432009035BKT01				
	1994-03-15	LT51290431994074BKT00			2009-03-24	LT51290432009083BJC00				
	1995-04-03	LT51290431995093BKT00			2010-02-07	LT51290432010038BKT00				
	1996-04-06	LT51290431996096BKT00			2011-02-10	LT51290432011041BKT00				
	1997-05-10	LT51290431997130BKT00			2012-02-05	LE71290432012036EDC00				
	1998-04-26	LT51290431998117BKT00			ETM	2013-04-20		LC81290432013110LGN01		
	1999-03-29	LT51290431999088BKT00				OLI		2014-04-23	LC81290432014113LGN00	
	2000-02-12	LT51290432000043BKT01						2015-03-09	LC81290432015068LGN01	
	2001-04-19	LT51290432001109BJC00			2016-11-22			LC81290432016327LGN00		
	2002-04-06	LT51290432002096BJC00			2017-03-14	LC81290432017073LGN00		Sentinel-2A	2018-03-01	LC81290432018060LGN00
	2003-04-09	LT51290432003099BJC00			2018-03-01	S2A_MSIL1C_20180402			土地利用 信息提取	
	2004-03-26	LT51290432004086BJC00			2018-04-02	T033531_N0206_R061_T				
	2005-02-25	LT51290432005056BKT01			2018-04-02	48RTN_20180402T063450				
2006-04-01	LT51290432006091									

2.2 研究方法

2.2.1 植被覆盖度估测

(1) 归一化植被指数(NDVI)。归一化植被指数是植被生长状态及植被覆盖度最佳指示因子^[14],其计算公式为:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

式中: NIR 为近红外波段的反射率; R 为红光波段的反射率。

(2) 基于像元二分模型估算植被覆盖度。像元二分模型是将一个像元的地表组成,分为有植被覆盖、无植被覆盖两部分,其中植被覆盖度可以看作是植被的权重^[15-16]。因此可以用 NDVI 计算植被覆盖度:

$$FC = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \quad (2)$$

地类样本点作为研究区多年 FVC 均值分级,以确定植被区及对应年份影像分类精度验证的依据。

预处理方面,因 Landsat 及 Sentinel-2A 数据均经过几何精校正,故只需再对其进行辐射定标及大气校正,以消除大气散射、吸收、反射引起的误差,得到地表反射率即可。其中,对于 Landsat 数据,本研究采用基于 MODTRAN4+辐射传输模型的 FLAASH 大气校正方法,该法可有效去除水蒸气/气溶胶散射效应;而 Sentinel-2A 则采用欧洲航天局的 Snap 软件进行辐射定标、大气校正,其中大气校正是在 Sen2Cor-2.4.0 模块下进行。最后依据呈贡区行政区划矢量数据对预处理后的影像进行镶嵌和裁剪。

式中: $NDVI_{soil}$ 为完全由裸土覆盖像元的 NDVI 值; $NDVI_{veg}$ 则代表完全由植被覆盖像元的 NDVI 值。本文根据各年影像数据,构建土地利用类型 ROI,确定 $NDVI_{soil}$ 和 $NDVI_{veg}$ 阈值,并提取森林类型内 NDVI 概率分布的 95% 下侧分位数所对应的 NDVI 值为 $NDVI_{veg}$ 参数; $NDVI_{soil}$ 参数则统一采用裸地覆盖地类内 5% 下侧分位数。研究区 FC 时间序列平均值需进行重分类后,将植被覆盖度划分为 4 个等级; 0~0.4 为低植被覆盖区; 0.4~0.6 为中等植被覆盖区; 0.6~0.8 为中高植被覆盖区; 0.8~1 为高植被覆盖区。

2.2.2 小波分析 小波分析能清晰揭示出隐藏在时间序列中的多种变化周期及在不同时间尺度中的变化趋势,兼具时域和频域多分辨功能,能对系统未来发展趋势进行定性估计。计算公式如下:

Morlet 母小波形式为:

$$\lambda = \pi^{-1/4} e^{ict} e^{-t^2/2} \quad (3)$$

子小波形式为:

$$\lambda_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \lambda\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (a \in \mathbb{R}, b \in \mathbb{R}, a \neq 0) \quad (4)$$

离散小波变换形式为:

$$W_f(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Delta t \sum_{k=1}^N f(k\Delta t) \lambda^* \left(\frac{k\Delta t - b}{a} \right) \quad (5)$$

式中: t 为时间; c 为无量纲频率; a 为尺度因子,表示小波周期长度; b 为时间因子,反映时间上的平移; $W_f(a,b)$ 为小波变换系数,可同时反映时间参数 b 和频域参数 a 的特性;*表示共轭复数。小波方差 FC 时间序列的波动能量随尺度(a)的分布情况确定演化过程中存在的主周期。计算公式为:

$$\text{var}(a) = \int |WT_f(a,b)|^2 db \quad (6)$$

2.2.3 趋势分析法 一元线性回归趋势分析能够模拟出影像中每个栅格的变化趋势,进而反映研究区 FC 空间变化趋势特征,计算过程如下:

$$\text{Slope} = \frac{n \sum_{i=1}^n (i \times M_{FC_i}) - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n M_{FC_i}}{n \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (7)$$

式中:Slope 为 1990—2018 年回归趋势斜率; n 为研究期总年数; i 为年份; M_{FC_i} 为第 i 年 FC 最大值。

2.2.4 变异系数法 本文通过变异系数(C_v)反映 FC 时间序列的波动情况,计算方法如下:

$$C_v = \frac{1}{\overline{FC}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (FC_i - \overline{FC})^2}{n}} \quad (8)$$

式中: FC_i 为第 i 年 FC 最大值; \overline{FC} 为研究区内每个栅格单元的 FC 的 29 a 平均值。 C_v 值表明时间序列数据波动情况。

2.2.5 面向对象的最近邻法 面向对象的最近邻分类法根据分割结果选取训练样本对象及特征空间,通过计算待分类影像对象和各类别训练样本之间的距离,将待分影像对象归类至距离最近的样本对象所属类别中。其表达式如下:

$$d_{osn} = \sqrt{\sum_{f_i} \left[\frac{v f_i^{S(n)} - v f_i^{(n)}}{\sigma f_i} \right]^2} \quad (9)$$

式中: d 为影像对象 o 和样本对象 S_n 之间的距离; $v f_i^{S(n)}$ 为样本对象 S_n 关于特征的特征值; $v f_i^{(n)}$ 为影像对象 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 对于特征 f_i 的特征值; σf_i 为所有影像对象的特征 f_i 的特征值的标准差。

以 Landsat4 TM (1990 年) 以及 Sentinel-2A (2018 年) 两期时相相近的遥感影像为土地利用信息提取数据源,基于 eCognition 软件,采用面向对象的

最邻近分类法获取研究区两个时段的土地覆盖类型空间分布图,并基于样本点构建混淆矩阵进行精度验证,确保分类结果的可靠性。构建 2000—2017 年研究区土地利用转移矩阵,在植被覆盖变化大格局下对土地转移以及植被变化信息进行分析。

3 结果与分析

3.1 时间变化特征

Landsat4 TM (1990 年) 以及 Sentinel-2A (2018 年) 两期时相相近的遥感影像为土地利用信息提取数据源,基于 eCognition 软件,采用面向对象的最邻近分类法进行土地利用信息提取,以获取研究区两个时段的土地覆盖类型空间分布图,并基于样本点构建混淆矩阵进行精度验证,确保分类结果的可靠性。通过此,构建 2000—2017 年研究区土地利用转移矩阵,以在植被覆盖变化大格局下对土地转移以及植被变化信息进行分析。

如图 2 所示,1990—2018 年呈贡区植被覆盖整体呈缓慢增加趋势,NDVI 值在 1990—2018 年由 0.227 6 增加到 0.254 1,FC 由 0.624 4 到 0.660 3,NDVI 及 FC 的线性倾向性分别为 0.03%/10 a,0.07%/10 a,两者波动变化具一定相似性,其中,最大值均出现在 2016 年,NDVI 及 FC 分别为 0.377 4,0.726 1,最小值出现 2001 年,分别为 0.583 2,0.152 9。值得注意的是,研究区植被覆盖在 2004—2009 年出现持续性下降趋势,线性倾向性分别为 -0.11/10 a(FC),-0.06/10 a(FC),其原因可能与近年来我国西南地区长时间尺度干旱事件有关;而自 2015 年至今,NDVI 及 FC 的增速分别为 0.28/10 a,0.10/10 a,植被覆盖增长趋势较为明显,表明呈贡新区在森林保护、造林绿化以及石漠化、难造林地荒山荒坡生态修复等工程均取得一定成效。

根据时间因子、尺度因子构建小波方差图,由图 3 可知,呈贡区的 FC 主要存在高频 14 a 变化周期,该周期也是研究区植被变化的主要周期,主要发生在 1995—2010 年;此外,小波方差图中还存在一个较为明显的峰值,其时间尺度为 7 a,对应着第二峰值。主要由以上两个周期的波动控制着植被覆盖在整个时间域内的变化特征。

3.2 空间变化特征

3.2.1 空间分布特征 根据样本点统计,1990—2018 年,FC 值分布具一定层次性,并随时序呈波动变化。如图 4 所示,统计得低植被覆盖区面积为 53.15 km²,占研究区总面积 11.53%,大部分分布于呈贡区西部,东部少量分布,因其地貌类型为水域,故植被分布极少;FC 值介于 0.4~0.6 的区域面积为 76.3 km²,占 16.55%,

对比 1990 年、2018 年土地利用图,发现该区域主要为裸地及建设用地类型,植被覆盖较少;FC 值介于 0.6~0.8 的区域占比最多,为面积 251.08 km² 的中高植被覆盖区,占比达 54.46%,主要分布于呈贡区中部大部分区域,地类以耕地、裸地及建设用地为主;高植被覆盖区域面积为 80.47 km²,占比 17.46%,分布于呈贡区的东北及东南向,该区域基本为林地,故植被覆盖度最高。总体来说,除水域覆盖区,研究区整体呈现外围植被覆盖较高,并向中部区域递减的趋势,植被覆盖度以中等为主。

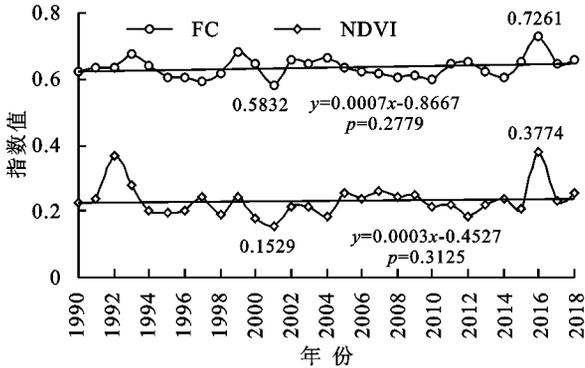


图 2 呈贡区 NDVI、FC 年际变化曲线

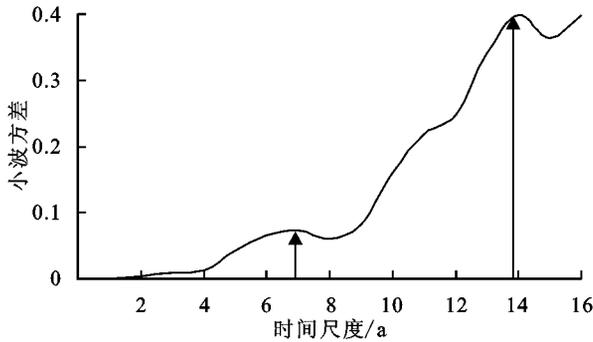


图 3 呈贡区 FC 小波变化情况

以研究区 DEM 重分类栅格图构建 ROI,经统计高程与植被覆盖度的关系,如图 5 所示,海拔为 1 700~2 800 m,植被覆盖度总体呈现急增—缓降—缓增趋势。约 88.88% 的区域介于 1 800~2 200 m,该范围植被覆盖度值为 0.4~0.8,说明在该海拔范围内,大部分区域为中高等植被覆盖度;海拔 1 700~1 800 m 的区域主要是水域,植被覆盖度低;而海拔 2 200 m 以上区域面积占研究区面积少,但由于该区域大多为林地,故植被覆盖度较高。

3.2.2 空间趋势特征 采用趋势分析法模拟研究区影像中每个栅格单元 29 a 的变化趋势,得到植被覆盖空间变化趋势。经统计, K 值域为 $-0.045 2 \sim 0.037 3$,表明植被变化趋势存在空间差异。参照不同的 FC 变化性质将趋势线斜率(K)划分为 5 个等级,并绘制变化趋势空间分布图(图 6)。研究区约 39% 的地区植被覆盖得到改善,其中轻微改善和明显改善区域面积分别为

129.21,50.68 km²,占比为 28.03%,10.99%,主要分布于呈贡区东部大片区域的山地等地区;约 117.67 km² 的区域存在退化趋势,占 25.52%,分布于呈贡新区,这是由于呈贡新区的发展,建筑用地增多,故植被覆盖度退化。植被基本没有发生变化的区域面积约为 163.44 km²,占 35.45%,主要分布于水域,其他较均匀地遍布于呈贡区。整体而言,研究区 1990—2018 年植被改善区域大于退化区域,近半区域植被覆盖得到了改善,植被发展前景较好。

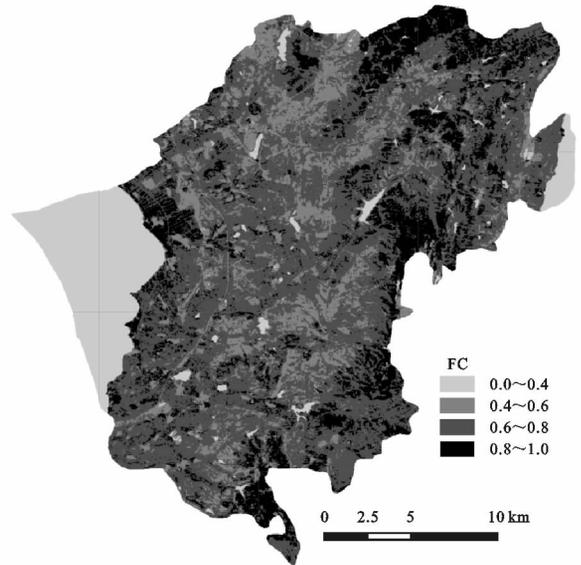
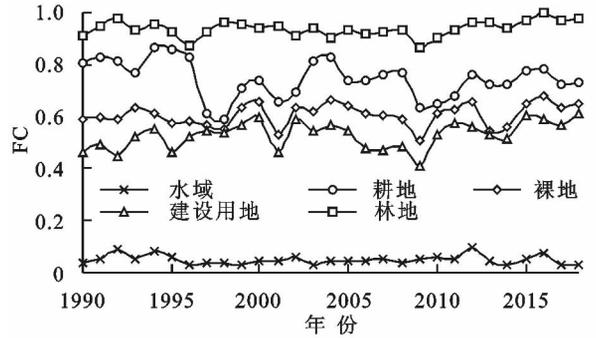


图 4 呈贡区 FC 空间分布

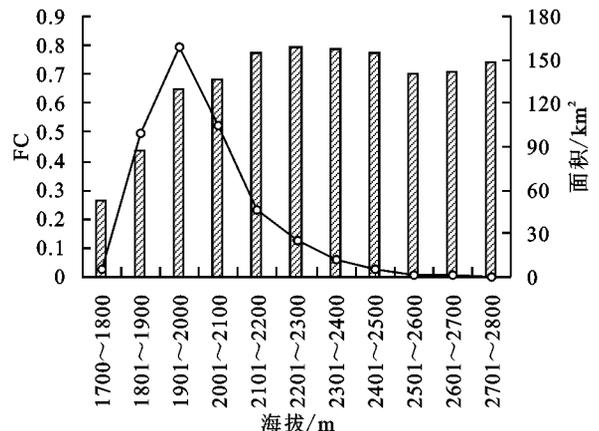


图 5 呈贡区 FC 与高程对应关系

3.2.3 空间波动特征 研究区 FC 变异特征空间分

布如图 7 所示,经统计近 29 a 植被覆盖度呈较低及低波动的变化态势合占 35.32%,低值区主要分布于呈贡区东部和西部两大片区域,这部分地区地类多以林地、水域为主,变化较为稳定;中值区面积为 170.6 km²,占比 37.01%,分布于呈贡城区外围;高值区占 27.67%,主要分布于呈贡城区,这与近年来加速城镇化建设密切相关,因其将耕地、林地及裸地转为建设用地,故其空间波动较大。总的来说,由于呈贡新区的建设,导致该区中部大范围区域空间波动较大,而外围区域波动较小且更稳定。

3.2.4 土地利用变化特征 以上主要侧重于对呈贡区近 29 a 植被覆盖变化进行探析,而关于其土地利用变化尚不明晰,针对此,提取研究区 1990 年和 2018 年的土地利用信息(图 8),在植被覆盖变化大格局下对土地转移以及植被变化信息进行进一步剖析。由表 2 可知,过去 29 a 间研究区林地、建设用地增

加,耕地和裸地减少,而水域基本无变化。对比植被覆盖度,发现植被覆盖度高的区域为未发生地类改变的林地,呈贡区中部大部分为中等植被覆盖度区域,地类以耕地、裸地和建设用地为主,水域覆盖度最低;对比植被覆盖变化趋势空间分布图,植被退化的区域主要为耕地、裸地转变为建设用地的区域,植被改善的区域为呈贡区东部大部分的裸地转变为林地;对比植被覆盖变异特征空间分布图,可知波动较高的为中部新增的建设用地区域,及东部的部分裸地转为林地的区域,较稳定的为水域及东部部分林地。由转移矩阵可知,转移比例最大的为耕地和建设用地,其次为裸地和林地,比例最小的为水域。转换为林地主要由裸地、耕地和建设用地构成,其中裸地转换比例达 25.94%;高达 31.14%的建设用地及 26.93%的耕地转换为裸地,这与呈贡区大面积规划建设及土地整改密切相关,并影响该区域植被覆盖度时空特征。

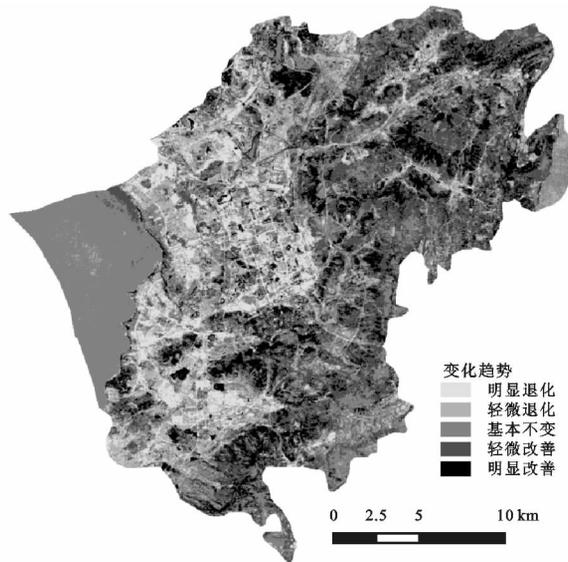


图 6 FC 变化趋势空间分布

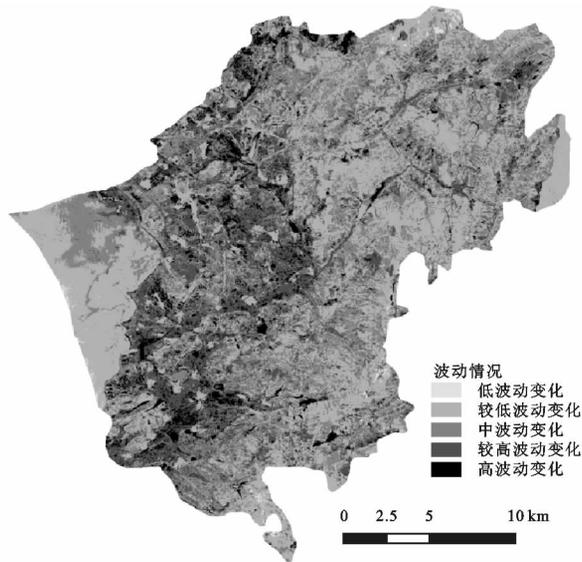


图 7 FC 变异特征空间分布

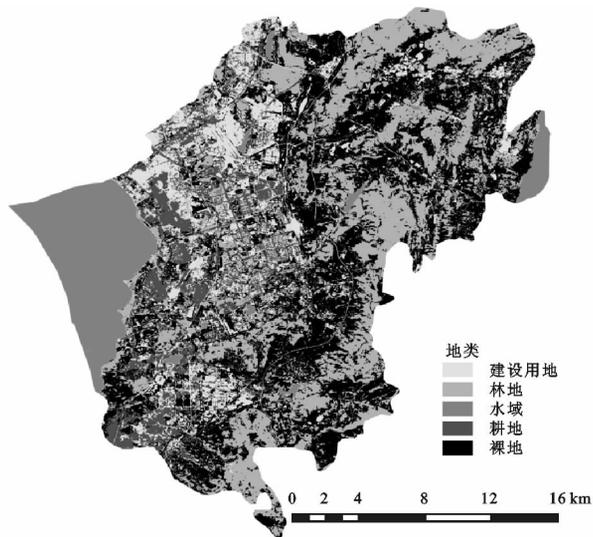
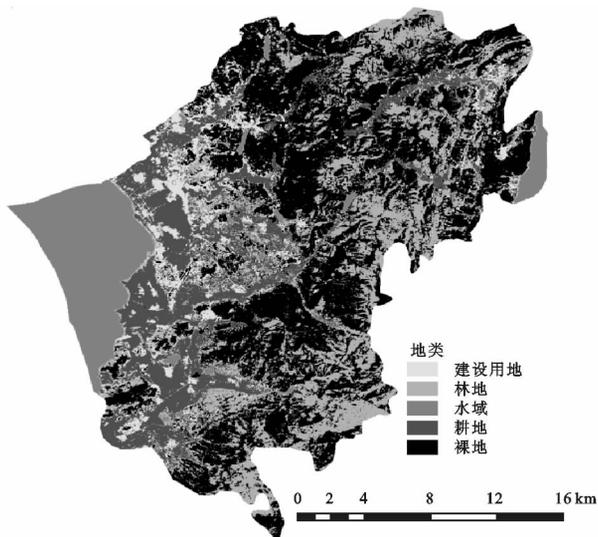


图 8 1990 年及 2018 年土地利用类型

表 2 1990 年、2018 年研究区土地利用类型面积转移矩阵

年份	土地利用类型	2018 年					合计转移
		水域	耕地	裸地	建设用地	林地	
1990 年	水域/hm ²	5033.50	7.50	19.70	63.20	20.40	110.80
	比例/%	97.85	0.15	0.38	1.23	0.40	2.15
	耕地/hm ²	35.40	1923.10	1511.40	1515.90	627.20	3689.90
	比例/%	0.63	34.26	26.93	27.01	11.17	65.74
	裸地/hm ²	10.00	1172.30	12685.10	2638.70	5782.20	9603.20
	比例/%	0.04	5.26	56.91	11.84	25.94	43.09
	建设用地/hm ²	144.60	1083.30	1775.10	2057.80	639.20	3642.20
	比例/%	2.54	19.00	31.14	36.10	11.21	63.90
	林地/hm ²	15.10	298.10	1199.90	456.80	5384.50	1969.90
	比例/%	0.21	4.05	16.32	6.21	73.21	26.79

4 结论与讨论

本文采用像元二分法计算植被覆盖度得到了呈贡区 1990—2018 年逐年的植被覆盖度分布情况,将小波变换及趋势分析方法用于分析其时空变化特征,采用面向对象的高精度分类法得到首尾两期土地利用变化。研究得出 29 a 年间呈贡区植被覆盖整体呈缓慢增加趋势,研究区在空间上呈现外围植被覆盖较高,并向中部区域递减的趋势,植被覆盖度以中等为主,占研究区面积一半以上。变化趋势表明呈贡区 29 a 年间植被改善区域大于退化区域。由于呈贡新区的建设,导致该区中部大范围区域空间波动较大,而外围区域波动较小且更稳定。呈贡区植被退化的区域主要为耕地、裸地转变为建设用地的区域,植被改善的区域为呈贡区东部大部分的裸地转变为林地区域;波动较高的为中部新增的建设用地区域;转换为林地主要由裸地、耕地和建设用地构成,较高转换比例的建设用地和耕地转换为裸地。

本研究由于 Landsat 数据的可获取性,每年选取的数据是 3—5 月期间的数据,故年际变化存在一定误差。1990 年的土地利用信息是基于谷歌影像进行精度验证,部分样本点可能不正确,故验证效果有待改善。虽本文研究周期长,对于植被覆盖的时间特征进行了回归分析,但未对其未来发展趋势进行预测,且未考虑气候因子对植被覆盖度的影响。今后研究重点应是在如今极端气候事件频现以及人类活动干预增强的背景下,如何定量区分气候变化、人类活动以及其他驱动因子对植被时空变化的贡献率。

参考文献:

[1] 贾坤,姚云军,魏香琴,等. 植被覆盖度遥感估算研究进展[J]. 地球科学进展, 2013, 28(7): 774-782.

[2] 刘少华,严登华,史晓亮,等. 中国植被 NDVI 与气候因子的年际变化及相关性研究[J]. 干旱区地理, 2014, 37(3): 480-489.

[3] 邢著荣,冯幼贵,杨贵军. 基于遥感的植被覆盖度估算方法综述[J]. 遥感技术与应用, 2009, 24(6): 849-854.

[4] 罗亚,徐建华,岳文泽. 基于遥感影像的植被指数研究方法述评[J]. 2005, 24(1): 75-79.

[5] 肖强,陶建平,肖洋. 黄土高原近 10 年植被覆盖的动态变化及驱动力[J]. 生态学报, 2016, 36(23): 7594-7602.

[6] 廖清飞,张鑫,马全,等. 青海省东部农业区植被覆盖时空演变遥感监测与分析[J]. 生态学报, 2014, 34(20): 5936-5943.

[7] 李杰,张军,刘陈立,等. 基于 MODIS-NDVI 的云南怒江流域植被覆盖时空变化特征研究[J]. 林业资源管理, 2018(4): 90-99.

[8] 李钰激,贾坤,魏香琴,等. 中国北方地区植被覆盖度遥感估算及其分析[J]. 国土资源遥感, 2015, 27(2): 112-117.

[9] 黄森旺,李晓松,吴炳方,等. 近 25 年三北防护林工程区土地退化及驱动力分析[J]. 地理学报, 2012, 67(5): 589-598.

[10] Piao S L, Wang X H, Ciais P, et al. Changes in satellite-derived vegetation growth trend in temperate and boreal Eurasia from 1982 to 2006[J]. Global Change Biology, 2011, 17(10): 3228-3239.

[11] 吴志杰,何国金,黄绍霖,等. 南方丘陵区植被覆盖度遥感估算的地形效应评估[J]. 遥感学报, 2017, 21(1): 159-167.

[12] 贺晋云,张明军,王鹏,等. 近 50 年西南地区极端干旱气候变化特征[J]. 地理学报, 2011, 66(9): 1179-1190.

[13] 朱沾斌,赵俊三. 基于 GIS 的昆明市呈贡区景观格局分析[J]. 浙江农业科学, 2018, 59(2): 248-251.

[14] 李惠敏,刘洪斌,王伟. 近 10 年重庆市归一化植被指数变化分析[J]. 地理科学, 2010, 30(1): 119-123.

[15] Leprieur C, Verstraete M M, Pinty B. Evaluation of the performance of various vegetation indices to retrieve vegetation cover from AVHRR data [J]. Remote Sensing Reviews, 1994, 10(4): 265-284.

[16] Zribi M, Le Hégarat-Mascle S, Taconet O, et al. Derivation of wild vegetation cover density in semi-arid regions: ERS2/SAR evaluation [J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(6): 1335-1352.