

## 基于 NDVI 数据的双峰县 22 年植被变化研究

陶立超, 谭洪田

(湖南省农林工业勘察设计研究总院, 湖南 长沙 410007)

**摘要:**为研究双峰县县域最近 20 多年来的植被覆盖动态变化, 选用 Landsat 卫星 1996 年、2007 年和 2018 年 3 个时相遥感影像, 通过影像几何校正、大气校正、影像拼接和裁剪等系列预处理后计算归一化植被指数(NDVI), 基于 NDVI 分级和差值法对植被空间分布及其变化进行分析研究。结果表明, 全县植被覆盖空间分布呈现东高西低的规律; 高、极高覆盖植被主要分布在北部、东部、南部边缘和东南群山之间, 中、低覆盖植被主要分布在中部、西部的丘陵岗地中。1996—2018 年 22 a 间, 植被变化表现为随时间先退化后改善的趋势, 总体以改善趋势为主, 双峰县 NDVI 均值从 1996 年的 0.532 1 提高到 2018 年的 0.705 7。前 11 a 植被变化以逆向变化为主, 主要表现在: 低覆盖植被面积增长了 18.80%, 中覆盖植被和高覆盖植被面积分别减少了 21.96%、2.89%。后 11 a 植被变化以正向变化为主, 主要表现在: 低覆盖、中覆盖和极低覆盖植被面积分别减少 27.27%、15.23%和 5.34%, 高覆盖和中高覆盖植被面积分别增长了 27.34%和 20.50%。后 11 a 间植被指数的增长幅度大于前 11 a 植被指数的减小幅度, 反映出植被发生正向变化的程度要强于植被退化程度, 反映了我国生态文明建设近十余年以来取得了较大成果。

**关键词:**双峰县; NDVI; 植被覆盖; 植被变化

**中图分类号:**S771.8

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-7461(2022)03-0149-06

### Changes in Vegetation Coverage in Shuangfeng County for 22 Years Based on NDVI

TAO Li-chao, TAN Hong-tian

(Hunan Prospecting Designing and Research General Institute for Agriculture and Forestry Industry, Changsha 421007, Hunan, China)

**Abstract:** In order to understand the dynamic changes of vegetation coverage of Shuangfeng County in recent 20 years, three period temporal remote sensing images from Landsat satellite (1996, 2007 and 2018) were selected in this paper. After images were subjected to pre-processing, such as geometric correction, atmospheric correction, mosaic and clipping, the normalized difference vegetation index (NDVI) was calculated. Based on NDVI classification and differential method, the vegetation spatial distribution and its changes were analyzed and studied. The results showed that the spatial distribution of vegetation coverage in the whole county generally presented the rule of high in the east and low in the west. High and extremely high vegetation coverage in the county was mainly distributed in the north, east, south edge and southeast mountains while the medium and low vegetation coverages were mainly distributed in the central and western hilly areas. During the 22 years from 1996 to 2018, vegetation changes in the Shuangfeng County showed a trend of first degradation and then improvement over time. On the whole, the improvement trend was dominant. The average value of NDVI increased from 0.532 1 in 1996 to 0.705 7 in 2018. The increase range of vegetation index in the latter 11 years was greater than the decrease range of vegetation index in the former 11 years, reflecting that the degree of positive change of vegetation was stronger than the degree

收稿日期: 2021-06-10 修回日期: 2021-06-30

基金项目: 国家自然科学基金(2017YFC0506503)。

第一作者: 陶立超, 硕士, 工程师。研究方向: 林业 3S 技术应用。E-mail: taolichao\_0207@126.com

of vegetation degradation. In the first 11 years, vegetation variation was dominated by reverse change, mainly manifested in the following aspects: the low vegetation coverage increased by 18.80%, medium vegetation coverage decreased by 21.96%, and high vegetation coverage decreased by 2.89%. In the latter 11 years, vegetation variation was mainly positive, which was mainly reflected in the following aspects: the vegetation areas of low, medium and very low coverage decreased by 27.27%, 15.23% and 5.34%, respectively, and the vegetation areas of high coverage and medium to high coverage increased by 27.34% and 20.50%, respectively which reflected the great achievements made in China's ecological civilization construction over the past 10 years.

**Key words:** Shuangfeng County; NDVI; vegetation coverage; vegetation variation

植被是陆地生态系统的主要组成部分<sup>[1]</sup>,具有调节气候、涵养水分、维持生态平衡等重要环境效应,是陆地生态系统中物质循环与能量流动的中枢<sup>[2]</sup>,是人类重要的环境和物质资源。植被变化能有效反映生态环境的变化,植被覆盖的稀疏和退化是导致区域水土流失、生态环境恶化的根源,因此,监测植被覆盖动态变化研究具有重要意义<sup>[3]</sup>。遥感影像因其时间上的连续性和空间上覆盖范围广,已成为研究大区域尺度植被状况的重要手段。大多数学者常用植被指数这一指标来对区域尺度植被变化进行遥感分析<sup>[4-6]</sup>。植被指数是通过多光谱遥感数据波段的线性或非线性组合来描述植被状况的一种光谱特征度量指标,近50 a来,国内外研究发展了多个植被指数<sup>[7-10]</sup>,其中归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)<sup>[11]</sup>是应用最广泛的遥感指标,前人研究得出<sup>[11]</sup>,不同遥感数据计算的不同遥感数据计算出的NDVI指数具有较高的可比性。

近几十年来,由于忽视了生态环境保护,地方局部生态环境状况不容乐观。随着我国生态文明建设提到战略高度和中央近年来的环保督察一系列行动的开展,社会对环境的关注日渐增加。从遥感角度对湖南几十年植被变化的研究不多,本研究以双峰县为例,通过遥感平台和地理信息技术分析植被的动态变化,掌握植被变化情况,可为湖南省其他地区植被状况的变化研究提供参考,为双峰县的生态

保护和创建国家森林城市提供科学依据。

## 1 研究区概况

双峰县地处湘中腹地,辖属娄底市( $27^{\circ}12'31''-27^{\circ}45'51''N$ ,  $111^{\circ}51'43''-112^{\circ}31'7''E$ )。东邻湘潭县、衡山县,南接衡阳县,西毗邵东、涟源,北界娄底、湘乡。东西长 61 km,南北宽 59.2 km,总面积 1 596 km<sup>2</sup>。下辖 12 个镇、3 个乡(图 1),分别为永丰镇、荷叶镇、井字镇、梓门桥镇、杏子镇、走马镇、洪山镇、甘棠镇、三塘铺镇、青树坪镇、锁石镇、石牛乡、沙塘乡和印塘乡。

双峰县境域地貌形态呈四周山丘崛起、中部岗平相间的立体轮廓,地貌类型呈山地连片、岗丘交错、平地绵展的组合。丘陵岗地主要分布在西北、南部边缘及东南群山之间,平原主要分布在中部、北部、西南部丘岗之间。双峰县属中亚热带季风气候,四季分明,春季寒潮频繁,气温变化剧烈;夏季暑热期长,伏旱明显;前秋干旱频繁,后秋天气多变;冬季严寒期短,多阴少雨。全县年平均气温 17.0℃,年降水量 1 200~1 350 mm,年日照 1 500~1 600 h,无霜期 260~300 d。全县多年平均降水 21.75 亿 m<sup>3</sup>,地表径流 9.116 亿 m<sup>3</sup>。多年平均容水量 2.627 亿 m<sup>3</sup>,地下水储量 1.3 亿 m<sup>3</sup>。全县森林资源有 128 科 820 余种,乡土树种 43 科 14 种,尚存古老、稀有、珍贵树种 20 余种。



图 1 双峰县位置及区划

Fig. 1 Location and districts of Shuangfeng County

## 2 材料与方法

### 2.1 数据收集

获取影像数据和收集双峰县行政区域图,遥感影像数据资料从地理空间数据云(GS Cloud)平台和中科院遥感与数字地球研究所数据共享平台下载,选择 Landsat 卫星 TM 和 OLI 数据,空间分辨率为 30 m,影像轨道号涉及 123/41 和 124/41。在影像选择时,由于无法获取到跨行列号的同一天的影像,结合考虑影像有云层和可用性,尽量选择同一月份或时间接近的 6—9 月影像,共选取了 1996 年、2007 年和 2018 年 3 个时期的共 6 幅影像数据,分别是 1996 年的 9 月 18 日 Landsat 5 TM(123/41)影像和 9 月 25 日的 Landsat 5 TM 影像(124/41)、2007 年的 5 月 3 日 Landsat 5 TM 影像(124/41)和 8 月 8 日 Landsat 5 TM 影像(123/41)、2018 年的 6 月 11 日 Landsat 8 OLI 影像(123/41)和 7 月 20 日 Landsat 8 OLI 影像(124/41)。

### 2.2 技术路线

利用遥感图像处理 ENVI 平台进行影像数据的前期预处理和提取归一化植被指数 NDVI,在地理信息系统 ArcGIS 平台的支持下,对 NDVI 图进行分级、空间统计分析和制图,由 Excel 2003 进行数据汇总,分析双峰县 22 a 的植被变化情况。技术路线见图 2。

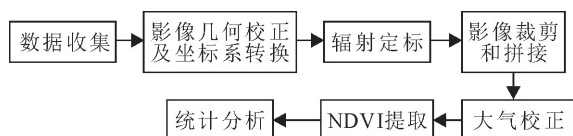


图2 技术路线

Fig. 2 Technology road map

### 2.3 数据预处理

对双峰县行政区划矢量图与遥感影像进行位置匹配校正,转换到同一个坐标系下。在 ENVI 平台的支持下,对影像数据进行几何校正、辐射定标、影像裁剪和拼接等前期处理。由于大气对植被指数有影响,在红波段增加了辐射,而在近红外波段降低了辐射,从而使植被指数减小<sup>[13]</sup>。根据前人研究,大气校正后,林地 NDVI 增幅明显,在植被指数提取、应用研究中,需要考虑大气效应对 NDVI 的影响<sup>[14]</sup>。鉴于本文目的是对植被变化进行定量分析和研究,利用真实地表反射率反演 NDVI,采用 ENVI 的 QUAC 功能模块对影像进行快速大气校正。

### 2.4 NDVI 提取和裁剪

归一化植被指数(NDVI, normal different vegetation index,公式中表示为  $N_{DVI}$ )通常用来反映植

被覆盖、生长等信息,计算公式如下。

$$N_{DVI} = (\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RED})$$

式中: $\rho_{NIR}$  为近红外波段(TM 数据为第 4 波段,OLI 数据为第 5 波段)的反射率, $\rho_{RED}$  为红波段(TM 数据为第 3 波段,OLI 数据为第 4 波段)的反射率。 $N_{DVI}$  的理论范围为  $-1 \sim 1$ ,一般绿色植被区  $N_{DVI}$  的范围是  $0.2 \sim 0.8$ <sup>[15]</sup>。

利用 ENVI 中的波段计算功能,计算 NDVI,再利用双峰县区行政区划范围对 NDVI 图像进行掩膜,提取本研究区 NDVI。

### 2.5 差值法分析

差值法计算用于统计 2 个时期同一区域内 NDVI 的变化值,即用某一时期的所有网格的 NDVI 值,减去另一时期的所有网格的 NDVI 值<sup>[16]</sup>。本文先对 NDVI 值小于 0.1 的非植被区域进行掩膜处理,再对 1996 年与 2007 年、2007 年与 2018 年 2 个时间的 NDVI 分别进行差值运算,分析 NDVI 差值结果,可以反映同一区域内在这段时期之间 NDVI 的变化。

## 3 结果与分析

### 3.1 植被空间分布特征

利用 1996 年、2007 年、2018 年 3 个时相的 NDVI 计算平均值,得到 NDVI 均值图(图 3)。由图 3 可知,全县植被覆盖空间分布总体上呈现出东高西低的规律。北部、东部、南部边缘和东南群山区域的 NDVI 值较高,而西部和中部的丘岗和平原的 NDVI 值较低。2007 年与 1996 年相比,全县 NDVI 的平均值从 0.532 1 降到了 0.483 1,2018 年与 2007 年相比,全县 NDVI 的平均值从 0.483 1 增长到了 0.705 7,且 NDVI 的增长幅度大于 2007—1996 年的减小幅度,这说明全县植被在 1996—2018 年 22 a 间发生了明显的正向变化,且后 11 a 间植被改善的程度强于前 11 a 植被退化的程度。

为对植被的空间分布及其变化进行更详细地了解,对植被进行分级和量化分析。根据前人研究结果<sup>[17-18]</sup>,将 NDVI 数值划分为 0.2 以下、0.2~0.4、0.4~0.6、0.6~0.8 和 0.8 以上 5 个区间,区间采用上限排外法取值,分别作为极低、低、中、高、极高 5 个植被覆盖度等级,制作植被覆盖分级图(图 4)。利用 ArcGIS 的空间分析工具,计算分析得出各植被覆盖等级的面积变化情况(表 1)。

全县高、极高覆盖植被主要分布在北部、东部、南部边缘和东南群山之间,中、低覆盖植被主要分布在中部、西部的丘陵岗地中,极低覆盖区域大部分为城镇、河流等无植被覆盖或植被非常少的范围。在



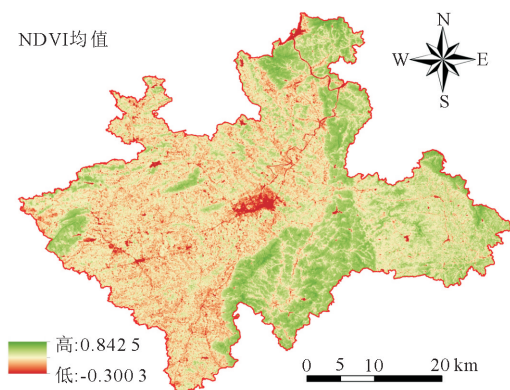


图3 双峰县多年平均 NDVI

Fig. 3 Average value of NDVI for years in Shuangfeng county

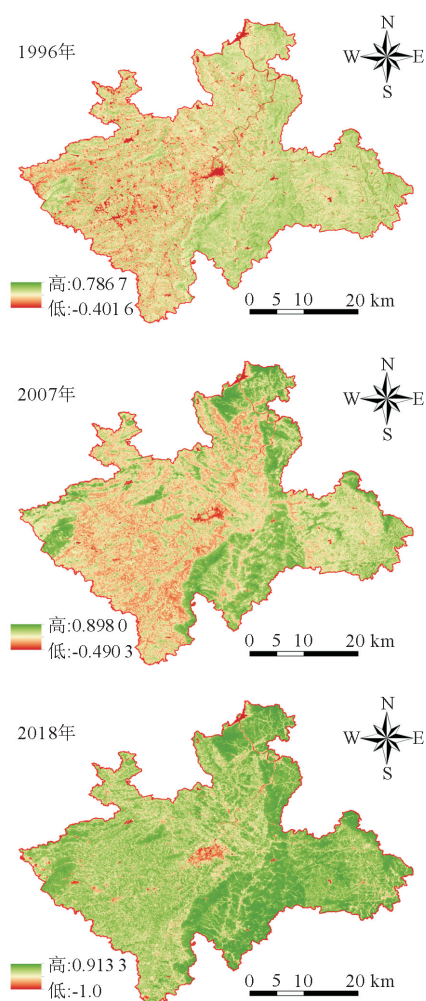


图4 不同覆盖等级植被的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of different vegetation coverage levels

1996年、2007年2个年份中,低覆盖、中覆盖和高覆盖植被占全县植被主导,三者面积之和所占比例分别达到98.23%和92.18%,1996年全县中、低覆盖植被相比2007年分布更加分散。2018年,全县植被以中覆盖、高覆盖和极高覆盖植被为主,三者面积之和所占比例达到95.71%,低覆盖和极低覆盖植被面积之和所占比例仅为4.29%。

### 3.2 不同时相各覆盖等级植被的面积变化

从表1中可看出,在1996—2007年11a间,植被变化主要以逆向变化为主,其中,低覆盖植被面积增长了18.80%,中覆盖植被和高覆盖植被面积分别减少了21.96%、2.89%;全县仍有少量的植被在正向增长,高覆盖植被从无到有增长,但面积非常有限,仅占1.61%。因此,1996—2007年时段内双峰县植被变化主要是面积上的缩减变化和质量上的退化。在2007—2018年11a间,植被变化以正向变化为主,中覆盖、极低覆盖和低覆盖植被面积大幅减少,高覆盖和极高覆盖植被范围和面积呈现持续扩大的趋势。其中,低覆盖、中覆盖和极低覆盖植被面积分别减少27.27%、15.23%和5.34%,高覆盖和中高覆盖植被面积分别增长了27.34%和20.50%。由此可见,2007—2018年这段时期内,植被朝着面积增加、质量改善的正方向发展,且植被改善程度强于1996—2007年时期内的植被退化程度。

### 3.3 植被的时空变化

根据差值法分析得出两段时期内植被的空间变化,根据前人研究<sup>[18]</sup>,将差值按-0.15以下、-0.15~-0.05、-0.05~0、0~0.05、0.05~0.15和0.15以上6个区间(上限排外法取值),将植被变化分别划分成严重退化、中度退化、轻微退化、轻微改善、中度改善、极度改善6个等级(图5),并进行面积统计(表2)。

1996—2007年间,全县植被发生退化变化和改善变化的面积几乎接近,以退化过程稍占主导,植被发生退化和改善的面积分别为813.93 km<sup>2</sup>和749.67 km<sup>2</sup>,分别占植被覆盖土地总面积的52.05%和47.95%;植被退化变化以严重退化为主,中度退化次之,轻微退化最后;退化的区域主要为双峰县中部、西部的丘陵岗地,植被发生改善变化的区域主要分布在杏子铺镇、石牛乡、甘棠镇和井字镇。2007—2018年间,植被变化以改善为主要变化趋势,改善的面积为1474.63 km<sup>2</sup>,所占比例高达94.15%,发生植被退化的面积仅占5.85%;植被改善变化以极度改善为主,所占比例为63.52%,植被改善几乎覆盖全县域范围,而发生植被退化的主要为城镇规划区及近郊区域。

总体上,2007—2018年22a间,植被变化主要表现为改善变化,发生改善变化的植被面积为1436.37 km<sup>2</sup>,发生退化变化的植被面积仅为148.69 km<sup>2</sup>,植被变化呈现为先退化后改善的趋势。2007—2018年间植被发生极度改善和中度改善的区域与1996—2007年间植被发生中度退化、严重退化的区域大部分重叠,说明中部、西部的植被生长状况越来越好。

表 1 各覆盖等级植被的面积和比例

Table 1 The area and proportion of vegetation at each level of coverage

覆盖等级	NDVI 值	面积/km <sup>2</sup>			占比(%)		
		1996 年	2007 年	2018 年	1996 年	2007 年	2018 年
极低	0.2 以下	28.34	99.31	13.94	1.77%	6.21%	0.87%
低	0.2~0.4	190.17	490.94	54.64	11.89%	30.69%	3.42%
中	0.4~0.6	827.54	476.24	232.64	51.73%	29.77%	14.54%
高	0.6~0.8	553.63	507.44	835.37	34.61%	31.72%	52.22%
极高	0.8 以上		25.75	463.09	0.00%	1.61%	28.95%

表 2 1996—2018 年间的 NDVI 差值统计

Table 2 Statistics of NDVI difference value from 1996 to 2018

变化等级	1996—2007		2007—2018		2007—2018	
	面积/km <sup>2</sup>	比例(%)	面积/km <sup>2</sup>	比例(%)	面积/km <sup>2</sup>	比例(%)
严重退化	450.67	28.82	23.48	1.50	40.01	2.52
中度退化	224.80	14.38	32.30	2.06	56.86	3.59
轻微退化	138.46	8.86	35.88	2.29	51.82	3.27
轻微改善	173.47	11.09	92.35	5.90	79.23	5.00
中度改善	377.06	24.11	387.41	24.73	314.67	19.85
极度改善	199.14	12.74	994.87	63.52	1 042.47	65.77

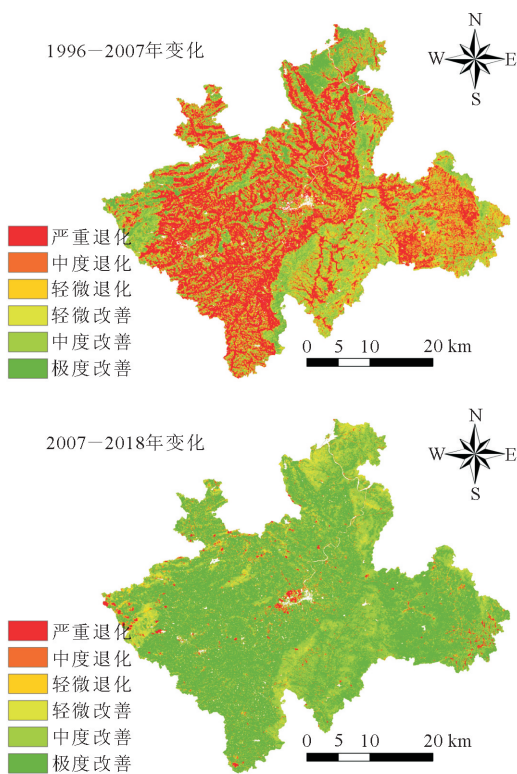


图 5 1996—2007 年与 2007—2018 年 2 个时期的植被空间变化

Fig. 5 Vegetation spatial changes in two periods: 1996~2007 and 2007~2018

3.4 各乡镇行政区的植被变化

从不同乡镇行政区的植被指数看(图 6),石牛乡、井字镇、荷叶镇、沙塘乡 4 个乡镇的植被指数大于 0.6,植被指数依次递减,紧接着为杏子铺镇(NDVI 为 0.595),前 5 个乡镇的植被覆盖较好,其他 7 个乡镇的植被覆盖相对较差。从 1996—2007

年和 2007—2018 年 2 个时段分析,杏子铺镇和石牛乡的植被指数呈现持续增长趋势,其他乡镇的植被指数均表现出随着时间先减小后增大的趋势,且后 11 a 的增长幅度大于前 11 a 的减小幅度。杏子铺镇、石牛乡的植被指数在 1996—2007 年增长非常缓慢。石牛乡位于双峰的中南部,杏子铺镇位于双峰县最北端,属于全县地势较高区域,森林植被天然条件较好,这也与图 3 中全县植被空间分布相吻合。

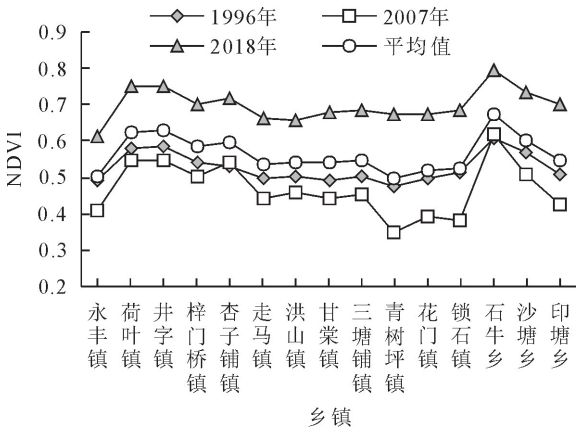


图 6 双峰县不同行政区域的植被指数

Fig. 6 Vegetation index of different districts in Shuangfeng County

4 结论与讨论

双峰县植被覆盖总体上呈现出东高西低的规律。全县高、极高覆盖植被主要分布在北部、东部、南部边缘和东南群山之间,中、低覆盖植被主要分布在中部、西部的丘陵岗地中,极低覆盖区域大部分为城镇、河流等无植被覆盖或植被非常少的范围。石

牛乡、井字镇、荷叶镇、沙塘乡 4 个乡镇的植被指数大于 0.6,且依次递减,紧接其后为杏子铺镇(NDVI 为 0.595),这 5 个乡镇的植被覆盖较好,其他 7 个乡镇的植被相对较差。

过去 22 a 间,植被变化表现为随时间先退化后改善的趋势,总体以改善趋势为主,双峰县 NDVI 均值从 1996 年的 0.532 1 提高到了 2018 年的 0.705 7。在 1996—2007 年 11 a 间,植被变化主要以逆向变化为主,低覆盖植被面积增长了 18.80%,中覆盖植被和高覆盖植被面积分别减少了 21.96%、2.89%。在 2007—2018 年 11 a 间,植被变化以正向变化为主,表现在:低覆盖、中覆盖和极低覆盖植被面积分别减少 27.27%、15.23% 和 5.34%,高覆盖和中高覆盖植被面积分别增长了 27.34%和 20.50%。

全县大部分乡镇植被指数表现为随时间先减小后增大,而杏子铺镇和石牛乡的植被指数呈现持续增长趋势。1996—2007 年 11 a 间,植被变化以退化为主要趋势,退化的区域多为人类活动集中的城区以及中西部的丘陵岗地,因而植被退化主要是受人类活动密集影响导致,这与关中地区植被时空变化分析<sup>[19]</sup>中人类活动集中的城区、县城出现严重的植被退化现象相一致。杏子铺镇和石牛乡地势较高,植被天然条件好,大部区域已划为九峰山省级森林公园,由于人口密度低,人为活动较少,森林植被受干扰程度相比其他乡镇较少,因此植被退化的程度较轻。2007—2018 年 11 a 间,植被变化以改善为主要趋势,且植被指数的增长幅度大于前 11 a 植被指数的减小幅度,反映出植被发生正向变化的程度要强于植被退化程度,这也侧面反映了我国生态文明建设近十余年以来取得了较好成果。

本研究基于 Landsat 卫星数据 3 个时相的 NDVI,分析和研究双峰县的植被变化情况。目前,全县的植被总体上情况较好,正在向良性方向变化发展,随着双峰县国家森林公园创建的推进,植被会越来越越好。植被变化需要长期的连续动态监测,本研究仅利用 1996 年、2007 年和 2018 年 3 期数据来分析植被变化,未对植被变化的因素进行分析,存在一定不足,在今后,应着重研究利用多源遥感和系列连续多时相影像分析植被变化,并分析植被变化的影响因素,更加真实准确地反映植被动态变化。

#### 参考文献:

[1] SONG Y, JIN L, WANG H B. Vegetation changes along the qinghai-tibet plateau engineering corridor since 2000 induced by climate change and human activities[J]. Remote Sensing,

2018,10(1):95-95(1).

- [2] 第宝锋,杨忠,艾南山,等.基于 RS 与 GIS 的金沙江干热河谷区退化生态系统评价—以云南省元谋县为例[J].地理科学,2005,25(4):484-489.
- [3] 刘桂林,张落成,李广宇,等.极端干旱区稀疏荒漠植被信息遥感探测研究[J].干旱区资源与环境,2013,27(4):37-40.
- [4] 梁钊雄,王兮之,魏兴琥,等.基于 TM 影像的广西河池市岩溶地区植被覆盖度的动态变化研究[J].中国岩溶,2014,33(2):208-215.
- [5] 杨绍镔,谭裕模,胡钧铭.基于 NDVI 的广西近十年植被变化特征分析[J].南方农业学报,2012,43(11):1783-1788.
- [6] 刘皓波,邱新法.基于 GIS 和 TM 影像的植被变化分析—以江西省武宁县为例[J].林业科技开发,2013,27(6):76-79.
- [7] HUETE A R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI)[J]. Remote Sensing of Environment,1988,25(3):295-309.
- [8] JACKSON R D, SLATER P N, PINTER J. Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres[J]. Remote Sensing of Environment,1983,13(3):187-208.
- [9] QI J, CHEHBOUNI A, HUETE A R, *et al.* A Modified soil adjusted vegetation index[J]. Remote Sensing of Environment, 1994,48(2):119-126.
- [10] 徐爽,沈润平,杨晓月.利用不同植被指数估算植被覆盖度的比较研究[J].国土资源遥感,2012(4):95-100.
- [11] ROUSE J W, HAAS R H, SEHELL J A, *et al.* Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS[C]. Proceedings of the Third Resources Technology Satellite-1 Symposium,1973,1:309-317.
- [12] 朱源,彭光雄,王志,等.西藏林芝地区近 30 a 来的 NDVI 变化趋势研究[J].西北林学院学报,2011,26(4):69-74.
- ZHU Y, PENG G X, WANG Z, *et al.* The trend of NDVI during the past 30 years in Linzhi Area, Tibet autonomous region [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(4): 69-74. (in Chinese)
- [13] 田庆久,闵祥军.植被指数研究进展[J].地球科学进展,1998,13(4):327-333.
- [14] 徐春燕,冯学智. TM 图像大气校正及其对地物光谱响应特征的影响分析[J].南京大学学报:自然科学版,2007,43(3):309-317.
- [15] 邓书斌,陈秋锦.植被波谱特征与植被指数综述[C].ESRI 中国(北京)有限公司.中国遥感应用协会 2010 年会暨区域遥感发展与产业高层论坛论文集.北京:2010.
- [16] 冯露,岳德鹏,郭祥.植被指数的应用研究综述[J].林业调查规划,2009,34(2):48-52.
- [17] 李红,李德志,宋云,等.快速城市化背景下上海崇明植被覆盖度景观格局分析[J].华东师范大学学报:自然科学版,2009(6):89-100.
- [18] 贾宝全,邱尔发,张红旗.基于归一化植被指数的西安市域植被变化[J].林业科学,2012,48(10):6-12.
- [19] 陈言,刘翔,王薇,等.基于长时间序列影像的关中地区植被时空变化分析[J].西北林学院学报,2014,29(2):54-60.
- CHEN Y, LIU X, WANG W, *et al.* Spatio-temporal variation of vegetation in guanzhong region using long-time serial images [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(2): 54-60. (in Chinese)