



武汉大学学报(信息科学版)  
*Geomatics and Information Science of Wuhan University*  
ISSN 1671-8860, CN 42-1676/TN

## 《武汉大学学报(信息科学版)》网络首发论文

- 题目：近 20 年来新疆阿勒泰地区植被动态变化及其对气候与地形的响应  
作者：牛全福，刘明志，张曼，程维明  
DOI：10.13203/j.whugis20210189  
收稿日期：2021-06-20  
网络首发日期：2022-07-19  
引用格式：牛全福，刘明志，张曼，程维明. 近 20 年来新疆阿勒泰地区植被动态变化及其对气候与地形的响应[J/OL]. 武汉大学学报(信息科学版).  
<https://doi.org/10.13203/j.whugis20210189>



**网络首发：**在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字符、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

**出版确认：**纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

**DOI:**10.13203/j.whugis20210189

**引用格式：**

牛全福，刘明志，张曼，等. 近20年来新疆阿勒泰地区植被动态变化及其对气候与地形的响应[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2022, DOI: 10.13203/j.whugis20210189 (NIU Quanfu, LIU Mingzhi, ZHANG Man, et al. Vegetation dynamic change and its response to climate and topography in Altay region of Xinjiang in recent 20 years [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, DOI: 10.13203/j.whugis20210189 )

## 近 20 年来新疆阿勒泰地区植被动态变化及其对气候与地形的响应

牛全福<sup>1,2</sup> 刘明志<sup>1</sup> 张曼<sup>1</sup> 程维明<sup>3,4</sup>

1 兰州理工大学 土木工程学院, 甘肃 兰州, 730050

2 甘肃省应急测绘工程研究中心, 甘肃 兰州, 730050

3 中国科学院大学 资源与环境学院, 北京, 100049

4 中国科学院 地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京, 100101

**摘要:**植被在生态环境监测中有着极其重要的意义,探讨植被覆盖变化可为区域生态环境保护工作提供重要参考。该研究利用多源遥感长时间序列数据、BFAST (breaks for additive seasonal and trend, BFAST) 像元突变监测、地形位分析及地统计方法, 对新疆阿勒泰地区 2000-2019 年间植被覆盖动态进行遥感变化监测, 获得以下结论: 1) 研究期间, 2003-2009 年植被突变像元数逐年增多, 2009 年以后突变像元数逐渐减少, 同时在监测出的七类植被像元突变趋势类型中, 由退化后转变为增长类的像元突变数最多, 干扰退化和持续退化类较少; 2) 多源数据植被覆盖年际变化曲线显示, 植被覆盖动态变化出现先减少后增加的趋势, 其中, 2000-2008 时段总体呈现退化趋势, 2008-2019 时段呈现明显改善趋势, 且退化大于改善; 3) 高程大于 900 m、坡度大于 15°的东坡(北转东和南转东)为植被覆盖变化退化类型的优势地形位, 约占 62.4%, 研究区植被覆盖改善并不明显, 需继续加大研究区生态环境保护。

**关键词:**植被覆盖; 叶面积指数 (LAI); 标准化降水-蒸散发指数 (SPEI); 时空动态; 地形位

贯通亚非欧的“丝绸之路”是我国历史上重要的商贸通道, 沟通亚欧大陆的“草原之路”是它的重要组成部分<sup>[1,2]</sup>。其中, 享有“黄金之路”美誉的阿尔泰山就处于“草原之路”的中心位置, 横跨中、哈、蒙、俄四国, 沟通中西方文化交流, 历史上一直是内亚草原通道上著名的产金之地<sup>[3]</sup>。新疆阿勒泰地区地处阿尔泰山中段西南麓, 不仅拥有丰富的黄金等矿产资源, 更是新疆相对丰水区、素有北疆“水塔”之称, 也是全国六大林区之一, 被国务院确定为水源涵养型山地草原生态功能区, 自然资源丰富, 风景瑰丽多彩。然而, 在新时代背景下, 以新疆阿勒泰地区为典型代表的丝绸之路经济带, 在“一带一路”倡议下迎来新的机遇和挑战。经济的快速发展带动自然资源的快速开发, 矿

产资源的开发、草原过牧、旅游开发等所引发的生态环境问题已引起相关部门的高度重视<sup>[4]</sup>。

植被是自然生态系统中最活跃和最敏感的因子, 是联接大气、水分和土壤等自然因素的纽带, 被称为陆地生态景观变化的“指示器”<sup>[5]</sup>。植被覆盖度 FC (fractional vegetation cover, FC) 被广泛应用于生态环境监测综合量化指标<sup>[5-7]</sup>。因而准确提取植被覆盖度及其应用研究已成为区域生态环境监测热点<sup>[8,9]</sup>。近年来, 多源遥感数据和多指标参数在区域植被动态监测中得到广泛的应用。例如, MODIS NDVI 因其低成本, 宽波段与较好时间分辨率等优势, 成为植被研究中运用最为广泛的遥感数据源<sup>[10]</sup>; 叶面积指数(leaf

---

收稿日期: 2021-06-20

基金项目: 国家自然科学基金 (41461084); 甘肃省高等学校产业支撑计划项目 (2020C-40); 甘肃省住房和城乡建设厅建设科技项目计划 (JK2021-57)。

第一作者: 牛全福, 博士, 副教授, 主要从事遥感数据处理与应用工作。 niuqf@lut.edu.cn

通讯作者: 程维明, 博士, 研究员。chengwm@igsnrr.ac.cn

area index, LAI)作为估算植被冠层功能的重要参数, 在植被生长突变监测中得到较好应用<sup>[11]</sup>; 植被总初级生产力 (Gross Primary Productivity, GPP) 作为碳循环的重要评价指标, 可从碳角度进一步监测植被恢复成效<sup>[12]</sup>。因而, 多源遥感数据应用植被变化监测可克服单一数据的缺陷而使监测结果更为可靠<sup>[13]</sup>。

本文以新疆阿勒泰地区为研究对象, 利用多源遥感长时间序列数据和建模分析方法, 从时空变化的角度分析阿勒泰地区多年植被变化动态, 探究阿勒泰地区在“一带一路”倡议和“丝绸之路”经济带发展中, 经济的发展对当地植被覆盖等自然环境的影响, 为阿勒泰地区的经济发展、资源开发、生态环境保护、经济可持续发展等提供科技支持。

## 1 研究区与数据

### 1.1 研究区概况

阿勒泰地区隶属新疆伊犁哈萨克自治州, 地理位置  $85^{\circ}31' \sim 91^{\circ}04'E$ ,  $45^{\circ}00' \sim 49^{\circ}10'N$ , 位于新疆维吾尔自治区最北部、阿尔泰山中段西南麓、准噶尔盆地北部, 下辖行政区包括 1 个县级市阿勒泰市和吉木乃县、布尔津县、富蕴县、哈巴河县、青河县、福海县 6 个县(图 1), 总面积 11.7 万 km<sup>2</sup>。区内地貌类型复杂多样, 地形以山区为主, 北部为阿尔泰山, 南部是准噶尔盆地, 西南部为沙吾尔山, 地势东北高、西南低。气候特征夏季干热, 冬季严寒, 是典型的北温带寒冷区大陆性气候<sup>[14]</sup>。近年来, 随着“一带一路”倡议和“丝绸之路经济带”的实施, 丰富的自然资源和得天独厚的地理优势, 使得阿勒泰地区成为我国丝绸之路经济带北通道和新疆参与中蒙俄经济走廊建设重要的节点。

### 1.2 数据源与处理

本研究采用数据为: (1)美国国家航空航天局(NASA)(<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/>)发布的 MOD13Q1 数据产品, 为空间分辨率 250 m、时间分辨率 16 d 的 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 数据集, 时间跨度为 2000-

2019 年; (2)GIMMS-3g LAI (leaf area index, LAI) 数据集(<https://ecocast.arc.nasa.gov/data/pub/gimms/>), 时间跨度 2000-2016 年, 空间分辨率 1/12 度, 时间分辨率为 15 d; (3)MODIS GPP<sub>vpm</sub> 数据集(<https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.879560>), 时间跨度 2000-2016 年, 空间分辨率 500 m, 时间分辨率 8 d<sup>[15]</sup>; (4)2000-2016 年的标准化降水-蒸散指数(SPEI) 数据集(<http://digital.csic.es>) ; (5)数字高程模型( DEM ) 数据为地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn/>)下载的 SRTMDEM 90 m 分辨率数据, 并分别提取了坡度和坡向。此外, 还包括研究区及附近地区的气象站数据及地理信息基础数据等。

SPEI 是基于“历史同月的累积水分亏缺量服从 Log-logistic 分布”的假设计算分布概率密度函数和累计概率, 然后转化成标准正态分布进而求得<sup>[16]</sup>。数据为全球网格标准化降水-蒸散指数(SPEI)数据集, 其空间分辨率  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 。由于 SPEI 与干旱事件的时间、地点和强度吻合度较高<sup>[17]</sup>, 且本研究主要针对植被变化监测, 考虑到植被对降雨波动的滞后响应, 因而研究中采用了 6 个月尺度的 SPEI 数据<sup>[13]</sup>, 通过计算逐年 SPEI 均值来分析植被动态对气候的影响。

遥感数据的预处理主要利用 MRT(MODIS Reprojection Tool, MRT)对上述数据进行投影和坐标转换等处理。所有数据均采用通用横轴墨卡托(UTM)投影, WGS84 坐标系, 重采样至 250 m。结合研究区概况将高程划分为 8 个带: 356~600 m、600~900 m、900~1 200 m、1 200~1 500 m、1 500~1 800 m、1 800~2 100 m、2 100~2 400 m 及 >2 400 m; 坡度划分为 6 级: $\leq 5^{\circ}$ 、 $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 、 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 、 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 、 $35^{\circ} \sim 45^{\circ}$  及  $>45^{\circ}$ ; 坡向划分为 5 级: 平坡、北坡( $315^{\circ} \sim 45^{\circ}$ )、东坡( $45^{\circ} \sim 135^{\circ}$ )、南坡( $135^{\circ} \sim 225^{\circ}$ )和西坡( $225^{\circ} \sim 315^{\circ}$ ) (图 1)。由于研究区植被生长期主要在 4 月至 9 月, 其它时间植被主要处于休眠和枯死状态, 因此将 4 月至 9 月多源遥感数据采用最大值合成法分别提取了月和年度尺度数据集, 用于监测研究区植被变化。

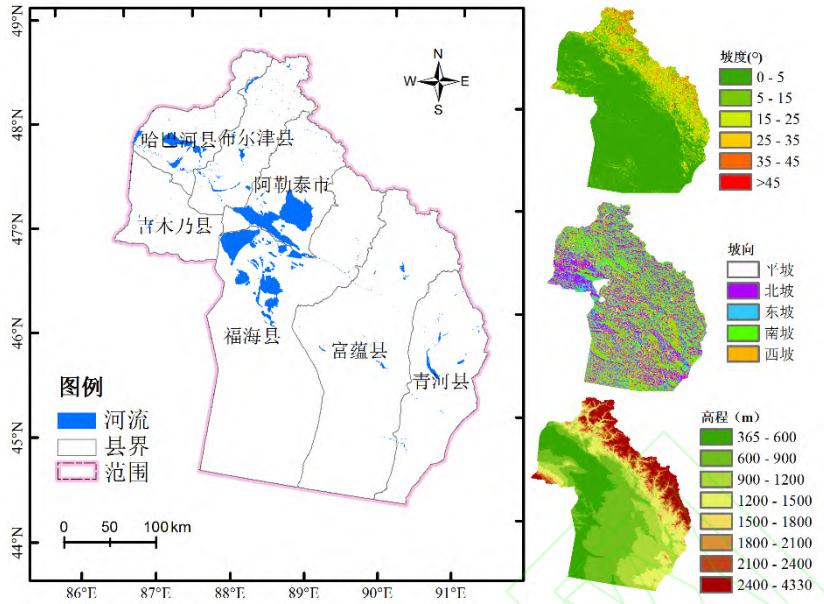


图 1 研究区域

Fig.1 Study area

## 2 研究方法

### 2.1 像元突变时空监测

BFAST (breaks for additive seasonal and trend) 模型通过迭代运算将原始时间序列数据分解为趋势、季节性和残差三部分<sup>[18]</sup>, 较好监测出 GIMMS-3g LAI 时间序列中像元突变的时空分布<sup>[19]</sup>。其算法形式如下:

$$Y_t = T_t + S_t + \varepsilon_t, \quad t=1,2,\dots,n \quad (1)$$

式中,  $Y_t$  为在  $t$  时刻的观测值, 本研究利用了 LAI 时间序列数据进行突变像元的监测;  $T_t$  为长期趋势部分,  $S_t$  为季节性(周期部分),  $\varepsilon_t$  为残差,  $t$  为观测时刻,  $n$  为时序的长。其中, 长期趋势  $T_t$  用分段线性模型表示, 对每一段  $t_i < t < t_{i+1}$ , 令  $t_0 = 0$ , 则:

$$T_t = \alpha_i + \beta_i t \quad (2)$$

式中,  $i$  为突变点位置,  $\alpha_i$  和  $\beta_i$  分别为突变点两侧线性模型的截距和斜率。季节性采用周期模型进行分段模拟, 即, 对于每一段  $t_i < t < t_{i+1}$ , 季节性周期模型如下:

$$S_t = \sum_{k=1}^j \alpha_{j,k} \sin\left(\frac{2\pi k t}{f} + \delta_{j,k}\right) \quad (3)$$

式中,  $j$  为突变点所在的位置;  $k$  是周期模型中调和项的数目;  $\alpha_{j,k}$  为振幅;  $f$  为频率;  $\delta_{j,k}$  为时相。趋势和季节性中突变像元的识别, 采用基于最小二乘移动求和检验进行判断, 使用贝叶斯信息论准则确定突变点的最优数量, 通过最小二乘法估计突变点在时间序列中

的位置<sup>[16]</sup>。本研究中 BFAST 算法的程序代码均在 R 语言中实现。

### 2.2 植被覆盖度计算

植被覆盖度为观测区域内植被垂直投影面积占地表面积的百分比<sup>[20]</sup>, 其计算采用应用最广泛的像元二分模型, 其表达式为<sup>[21-24]</sup>:

$$FC = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \quad (4)$$

式中,  $FC$  表示植被覆盖度,  $NDVI_{soil}$  表示无植被覆盖像元的 NDVI 值,  $NDVI_{veg}$  表示纯植被覆盖像元的 NDVI 值, 取置信区间 5% 与 95% 作为 NDVI 最大值与最小值来代替全裸土覆盖和纯植被覆盖地区植被指数值<sup>[25]</sup>。

### 2.3 植被覆盖度趋势

植被覆盖度变化趋势采用一元线性回归趋势分析法进行提取, 其表达式为<sup>[26]</sup>:

$$\beta = (n \times \sum_{i=1}^n i \times X_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n X_i) / (n \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2) \quad (5)$$

式中,  $\beta$  为像元点变化趋势的斜率,  $n$  表示研究时段总年数,  $X_i$  表示第  $i$  年的研究因子值。其中, 当  $\beta > 0$ , 表明植被呈上升(改善)趋势; 反之, 则呈现下降(退化)趋势, 绝对值越大表示变化程度越剧烈。

### 2.4 地形位分布指数

研究区植被覆盖度变化对地形位的响应采用分布指数<sup>[27]</sup>来定量分析。其计算公式如下:

$$K = \frac{S_{ie}}{S_i} / \frac{S_e}{S} \quad (6)$$

式中, K为植被覆盖在e类地形位的分布;  $S_{ie}$ 为第i类的植被覆盖变化类型在e类地形下的面积;  $S_i$ 指第i类植被覆盖变化的总面积;  $S_e$ 为研究区内e类地形位的总面积; S为研究区总面积。显然, 当K > 1时, 表示其为植被覆盖空间分布的优势地形位, K值越大, 优势度越明显; K = 1时, 表示该地形位上的植被覆盖变化分布平稳; K < 1时, 表示其为植被覆盖变化类型非优势地形位<sup>[28]</sup>。

### 3 结果和分析

#### 3.1 植被突变像元的时空分布

图2为利用BFAST模型和GIMMS-3g LAI时间序列数据监测的研究区植被突变像元时空分布和像元突变趋势类型。就突变像元的时空分布来看(图

2(a), 图2(c)), 研究期间监测出的植被突变像元数呈现出先逐年增加, 到2009年间达最大, 其后逐渐减少的过程。本次研究中以3年为一个时段进行统计分析发现, 2003年前, 监测到了少量的植被突变像元, 而植被突变像元数增多主要发生在2004-2009年间, 占研究期间总突变像元数的63.7%, 其中, 2007-2009年间监测到突变像元最多, 占37.7%。依据突变像元的变化趋势, 研究区监测到七类突变像元趋势类型(图2(b), 图2(d)), 统计研究区植被突变像元数发现, 有14.8%的突变像元为持续增长型, 59.5%为持续退化型; 12.4%的突变像元由增长转为退化型, 而退化转为增长型仅占1.15%; 此外, 由外因干扰转为增长(快速增长和缓慢增长)型占3.53%, 外因干扰后转为退化类型占总数的8.6%。

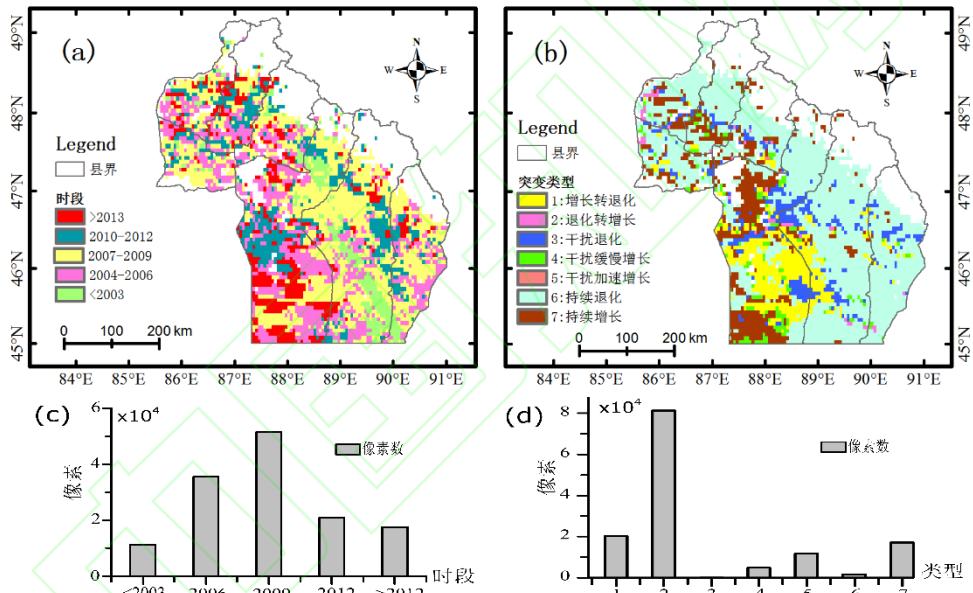


图2 突变像元时空分布 (a) 突变像元时空分布; (b) 突变像元趋势类型分布;  
(c) 突变时段像素数; (d) 突变类型像素数

Fig.2 Spatio-temporal distribution of breakpoints

#### 3.2 多源数据年度动态变化特征分析

图3为多源遥感时间序列数据GPP<sub>VPM</sub>、NDVI、LAI及标准化降水-蒸散发指数SPEI的年度动态变化趋势, 从中可以看出如下明显的变化特征: 即先下降再增长的趋势, 2008年为转折年, 并且多源遥感数据的年度变化趋势与SPEI数据呈现的干旱期在2012年之前基本一致, 之后一致性并不明显。其中, 2000-2008年, 年度GPP<sub>VPM</sub>累加和随时间呈现出轻微的下降趋势( $\beta=-0.0672, P<0.05$ , 图3a), 而在2008-2016年期间, GPP<sub>VPM</sub>随时间呈现出明显的上升趋势( $\beta=0.9396, P<0.05$ )。从NDVI与LAI的年变化趋势可以看出(图3(b), 2(c)), 2008-2016年间NDVI

和LAI均出现明显先下降然后增长的趋势, 在2008年呈现明显的“谷”状特征。2008年前, LAI年均值随时间呈现一定的下降趋势( $\beta=-0.0017, P<0.05$ , 图3c), 而在2008-2016年间, 其增长趋势较为明显( $\beta=0.0022, P<0.05$ ), 由于NDVI与LAI具有一定的相关性, 因而其与LAI具有同样变化趋势(图3(b))。从SPEI的年均变化趋势可以看出, 在2000-2016年间, 有一个较为明显的干旱年(2008年)(图3(d)), 受干旱气候条件的影响, GPP<sub>VPM</sub>、NDVI和LAI均呈现出先下降后增长的趋势。同时发现, 尽管2013年以后SPEI出现下降趋势, 然而GPP<sub>VPM</sub>、NDVI和LAI的年度动态变化似乎并未受到干旱的影响依然呈现出增长的趋势。

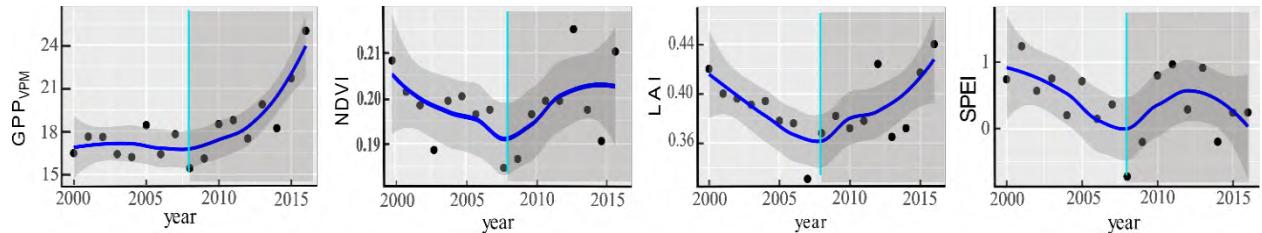


图3 多源数据年度动态变化趋势 ((a)、(b)、(c) 和 (d) 分别为 GPP<sub>VPM</sub>、NDVI、LAI 和 SPEI 年际变化曲线, 其中, GPP<sub>VPM</sub> 为年度的和 (单位:  $\text{gCm}^{-2}\text{yr}^{-1}$ ) , NDVI 为年度均值, LAI 为年度均值 (单位:  $\text{m}^2\text{m}^{-2}$ ) , SPEI 为年度均值)

**Fig.3 Annual dynamic trend from multi-source data**

### 3.3 植被覆盖度变化分析

利用 2000-2019 年 NDVI 长时间序列数据和像元二分模型, 分别计算了研究区的植被覆盖度, 进而获得研究期间植被覆盖度年际均值空间分布(图 4a), 并参照文献<sup>[29]</sup>及研究区植被生长状况, 将植被覆盖度划分为高植被覆盖度 ( $0.8 < \text{FC} \leq 1$ ), 较高植被覆盖度 ( $0.6 < \text{FC} \leq 0.8$ ), 中度植被覆盖度 ( $0.4 < \text{FC} \leq 0.6$ ), 较低植被覆盖度 ( $0.2 < \text{FC} \leq 0.4$ ), 低植被覆盖度 ( $\text{FC} \leq 0.2$ ) 五个等级。统计发现, 研究区绝大部分区域植被覆盖属于低和较低等级, 中、较高和高等级的植被覆盖主要位于阿拉泰山南麓及吉木乃县等部分区域, 仅占研究区的 34.5%。

进一步提取了 2000-2019 年植被覆盖度时间序列和计算了研究期间的年际变化趋势, 并依据趋势和显著性水平, 将其分为 3 类(图 4b): 植被改善类 ( $\beta > 0$ ,  $P \leq 0.01$ )、植被稳定类 ( $P > 0.01$ ) 和植被退化类 ( $\beta < 0$ ,  $P \leq 0.01$ )。统计发现, 研究期间, 植被覆盖的改善类占比为 16.5%, 稳定类占比为 21.1%, 其中约 62.4% 的区域属于植被覆盖的退化类。可见, 研究区在近 20 年间大片面积的植被覆盖呈现一定的退化趋势。

为进一步分析植被覆盖的变化情况, 分别统计了

2000、2008 和 2019 年三个时段的植被覆盖度年度均值, 然后基于 GIS 空间统计分析技术, 分别统计了 2000-2008、2008-2019 年两个时段植被覆盖度等级间的转换空间分布情况。对比分析发现, 2000-2008 年间各等级间的转换空间分布呈现向退化类转移的趋势(图 4c), 与之相反, 在 2008-2019 年间, 各等级间转换空间分布呈现较为明显的向改善类转移的趋势(图 4c)。统计获取两时段植被覆盖度等级转换矩阵进行定量分析(表 1), 其中, 在 2000-2008 时段, 从低、较低、中和较高等级转入较低、中、较高和高等级的面积( $\text{km}^2$ )分别为 922.3、514.8、428.6 和 460.2, 改善类总面积仅 2 325.9; 而从较低、中、较高和高等级转入低、较低、中和较高等级的面积分别为 5 632.76、4 528.6、5 834.6 和 6 866.8, 退化总面积达 22 862.76, 即该时段植被覆盖总体呈现较大的退化趋势。在 2008-2019 时段, 低、较低、中和较高等级依次转入高一等级的面积分别为 9 858.97、5 872.25、6 724.04 和 6 522.91, 改善区涉及总面积达 28 978.16; 从较低、中、较高和高等级依次转入低一级等级的面积分别为 380.82、461.98、418.4 和 513.52, 退化类总面积为 1 774.74, 可见, 该时段植被覆盖总体呈现明显的改善趋势。

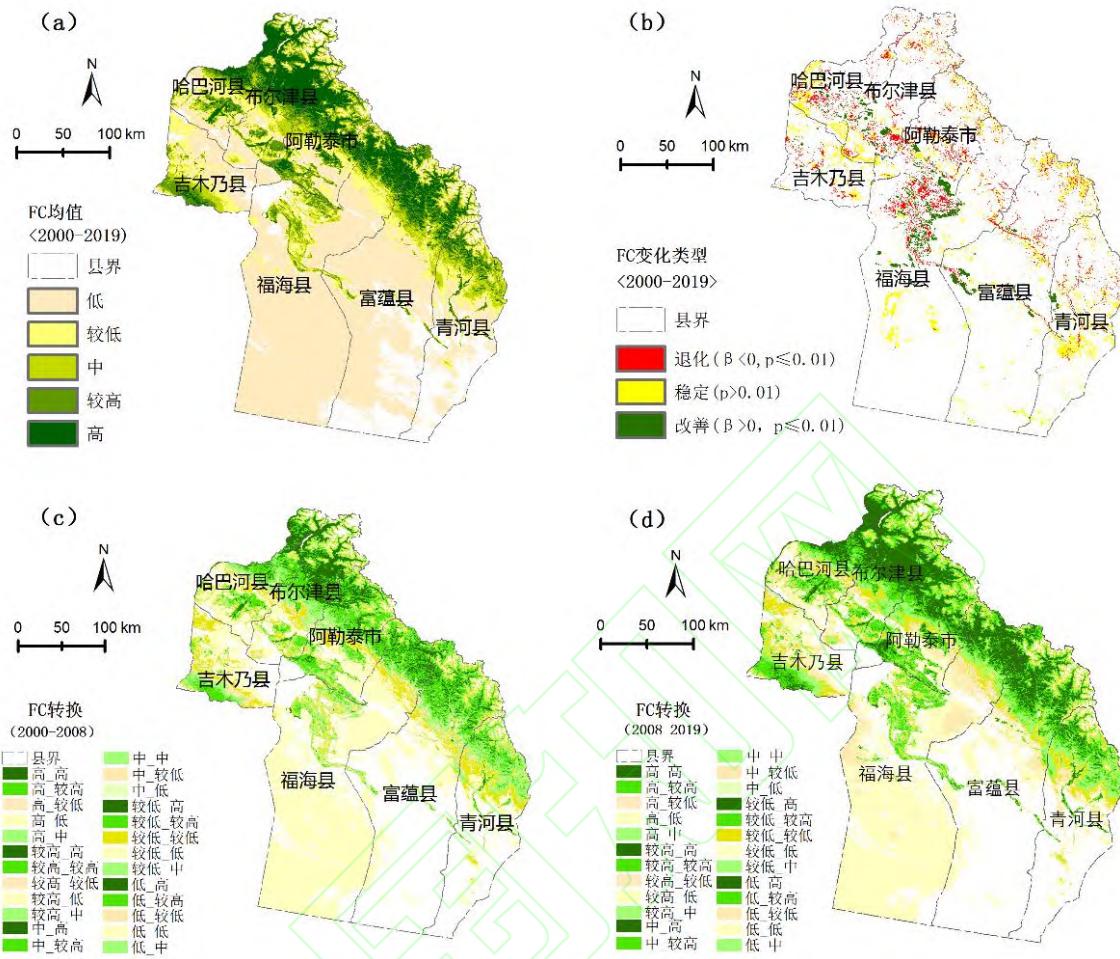


图4 植被覆盖度(FC)空间分布与等级间转换 ((a) 为年际均值; (b) 变化类型, (c) 2000-2008 转换; (d) 2008—2019 转换)

Fig.4 Spatial distribution and change of FC

表1 2000-2019年植被覆盖度面积转移矩阵(单位/km<sup>2</sup>)

Tab.1 Area transfer matrix of FC grades from 2000 to 2019 (km<sup>2</sup>)

时段	等级	低覆盖度	较低覆盖度	中度覆盖度	较高覆盖度	高覆盖度	期初总计
2000-2008	低覆盖度	30 599.768	5 632.760	74.914	21.181	1.437	36 330.059
	较低覆盖度	720.832	7 808.938	4 453.699	190.252	4.624	13 178.344
	中度覆盖度	182.067	492.717	5 684.056	5 623.200	337.017	12 319.057
	较高覆盖度	18.806	21.806	411.806	5 319.485	6 523.787	12 295.689
	高覆盖度	0.562	0.312	16.745	460.165	5 554.785	6 032.569
	期末总计	31 522.035	13 956.533	10 641.219	11 614.282	12 421.649	80 155.719
2008-2019	低覆盖度	26 672.588	380.816	15.558	1.937	1.562	27 072.460
	较低覆盖度	9 036.420	6 980.266	446.420	24.742	3.249	16 491.096
	中度覆盖度	477.222	5 250.569	5 147.915	391.750	6.498	11 273.954
	较高覆盖度	289.220	592.248	6 274.492	5 350.412	502.214	13 008.586
	高覆盖度	56.107	29.428	449.544	6 522.912	5 513.673	12 571.664
	期末总计	36 531.557	13 233.327	12 333.927	12 291.753	6 027.196	80 417.760

### 3.4 植被覆盖度地形位分布

将研究区植被覆盖度变化类分别与高程、坡度、坡向 3 个地形因子进行叠加统计，并计算其在地形因子上的分布指数。图 5 为分布指数  $K$  值随高程的变化曲线，可以看出，植被改善类在高程为 900 m 区域以内为地形主导类型( $1.1 < K < 3.1$ )，且其高程在 600 m 以内优势较明显，大于 900 m 时其  $K$  值迅速减少至 1 以下；植被稳定类在高程 900 以内为主导类型 ( $1.01 < K < 1.47$ )，海拔在 900~1 500 m 区间上  $K$  值接近 1，植被覆盖在该区间分布平衡，高程 1 500 m 以上的上  $K$  值迅速降到 1 以下，到达 2 400 m 以上时  $K$  值又迅速增加；退化类在高程 700 m 以内为主导类型 ( $1 < K < 1.43$ )，700~2 400 m 区域  $K$  值在 1 以下，而在 2 400 m 以上时逐渐增加。由此可见，植被覆盖度变化受高程影响较大，海拔 900 m 以内区域植被改善较为显著，原因为此区间的人类活动(如农业生产等)干扰对植被覆盖贡献较大；在 900~1 500 m 区间植被覆盖稳定，原因为海拔升高，人类活动干扰减少等；在 1 500 m 以上时植被退化，原因为人类活动(如采矿)以及海拔偏高，植被生长的自然环境较差等所致。

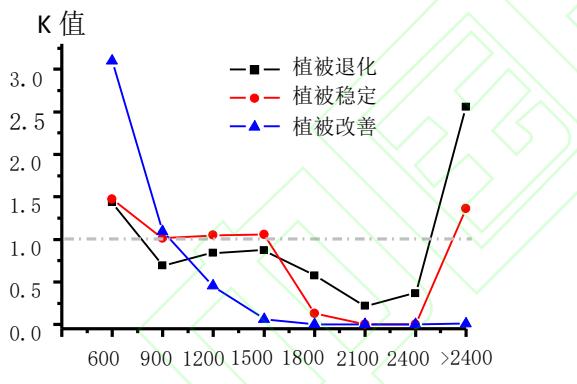


图 5  $K$  值随高程变化曲线  
Fig.5 Curve of  $K$ -value with elevation

图 6 为分布指数  $K$  值随坡向的变化曲线。可以看出，当坡向由阳坡转阴坡，即东坡转北坡和南坡转西坡，植被稳定类和改善类在增加，而退化类在减少。其中，植被改善类在平坡和西坡的地形位优势明显 ( $K=1.56$  和  $K=1.15$ )；植被退化在东坡占优势 ( $K=1.13$ )，在南坡的优势稍弱 ( $K=1.05$ )；植被稳定类在北坡占优势 ( $K=1.26$ )。总之，与阳坡相比较，由于阴坡太阳辐射相对较少，水分蒸发小，因而当坡向由阳坡转向阴坡时，植被稳定和改善类占比有一定的增加，但增加幅度较小。

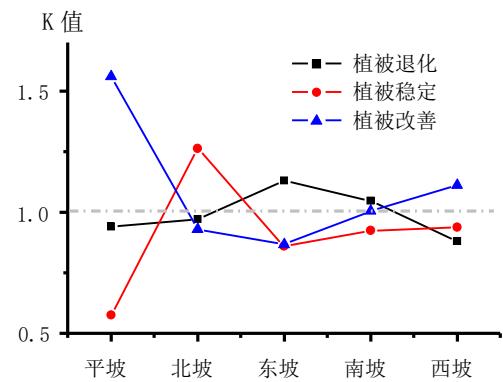


图 6  $K$  值随坡向变化曲线

Fig.6 Curve of  $K$ -value with aspect

图 7 为分布指数  $K$  值随坡度的变化曲线。可以看出，植被退化类随坡度增大逐渐增加，改善类逐渐减少，稳定类先减少后增加。其中，退化类在  $15^\circ$  以上为优势分布 ( $1.3 < K < 2.5$ )；稳定类的非优势分布位于  $15^\circ$ ~ $40^\circ$  区间 ( $K < 1$ )，其余为优势分布 ( $K=1.1$  和  $1.3 < K < 1.8$ )；改善类在坡度  $5^\circ$  以内区域为优势分布 ( $K=1.5$ )。分析发现，由于坡度  $5^\circ$  以内区域地形平坦，受人类活动如农业耕作等干扰，植被覆盖有改善但幅度有限；坡度在  $10^\circ$ ~ $40^\circ$  区域，由于受人类活动和气候自然条件联合作用而退化较明显，需采取措施加大保护和恢复；坡度大于  $40^\circ$  以上区域，尽管人类活动干扰偏少，稳定类植被分布有所增加，但由于受自然气候环境所致，植被退化仍然占优势分布。

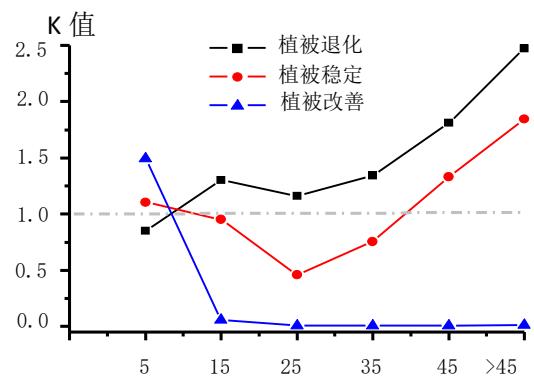


图 7  $K$  值随坡度变化曲线  
Fig.7 Curve of  $K$ -value with slope

### 4 结论与讨论

本文利用多源长时间序列的 NDVI、LAI、GPP<sub>VPM</sub> 以及 SPEI 数据，结合研究区的人类活动以及 GIS 空间统计分析方法对新疆阿勒泰地区 2000-2019 年间植被动态进行了遥感变化监测，得出以下主要结论：

1) 研究区 2000-2019 年间，监测出植被突变像元数的时空变化为先逐渐增大后减少的趋势。2003

年前, 监测到了少量的植被突变像元, 绝大多数突变像元发生在 2004-2009 年间, 其中, 2006-2009 监测到突变像元最多, 占 37.7%。就突变像元变化趋势, 有 14.8% 为持续增长型, 59.5% 为持续退化型; 由增长转为退化型的突变像 12.4%, 退化转为增长型仅占 1.15%; 此外, 由外因干扰转为增长型占 3.53%, 外因干扰后转为退化类型占 8.6%。

2) 研究区植被覆盖年际变化呈现出先减少后增加的趋势, 2008 年为低谷点。其中, 2000-2008 年间植被年际动态与 SPEI 变化趋势一致, 表明该时段植被变化主要受气候条件的控制; 2008 年以后, 尽管 SPEI 年际变化呈现异常波动, 但 NDVI、LAI、GPP<sub>VPM</sub> 的年际变化仍呈现恢复态势, 表明 2008 年来研究区植被恢复受人类活动的控制明显。

3) 研究区植被覆盖等级变化呈现先由高级别向低级别转化占优势, 然后变为由 2008 年以来的低级别向高一级等级转化的趋势。其中, 在 2000-2008 时段, 从低一等级依次转入高一等级的总面积仅 2 325.9 km<sup>2</sup>, 而从高一等级转入低一等级的总面积达 22 862.76 km<sup>2</sup>, 即该时段植被覆盖总体呈现退化趋势。在 2008-2019 时段, 低一等级依次转入高一级等级的总面积达 28 978.16 km<sup>2</sup>, 从高一等级依次转入低一级等级的总面积仅为 1 774.74 km<sup>2</sup>, 即该时段植被覆盖总体呈现改善趋势。

4) 从植被覆盖度时空动态变化趋势来看, 高程大于 900 m、坡度大于 15° 的东坡(北转东和南转东)为植被覆盖度退化类型的优势地形位。其中, 监测期间的退化类型占 62.4%, 稳定和改善类之和仅占比为 37.6%, 因此研究区植被覆盖改善并不明显, 需继续加大生态环境保护。

## [参考文献]

- [1] Lin Meicun. *Fifteen lectures on the archaeology of the Silk Road*[M]. Beijing: Peking University Press, 2006 (林梅村. 丝绸之路考古十五讲[M]. 北京: 北京大学出版社, 2006)
- [2] Rene Grousset. *Grassland Empire*[M]. Li Li, et al./translation. Beijing: International Culture Publishing Company, 2003(勒内·格鲁塞. 草原帝国[M]. 黎荔, 等, 译. 北京: 国际文化出版公司, 2003)化出版公司, 2003)
- [3] Su Yingchun. Changes in Altai Grassland Silk Road Culture and the Enlightenment[J]. *Journal of Xinjiang University of Finance & Economics*, 2014(4): 60-66 (粟迎春. 环阿勒泰草原丝绸之路文化的变迁及启示[J]. 新疆财经大学学报, 2014(4): 60-66)
- [4] Chen Xiangjun. Resource Development of “Silk Road Economic Belt” and Grassland Ecology and Pastoral Society—A Case Study of Altay, Xinjiang[J]. *Journal of South-Central University for Nationalities (Humanities and Social Sciences)*, 2019, 39(2): 176-180 (陈祥军. “丝绸之路经济带”资源开发与草原生态及牧区社会: 以新疆阿勒泰地区为例[J]. 中南民族大学学报(人文社会科学版), 2019, 39(2): 176-180)
- [5] Zhang Yudong, Tan Hongbing. Study on Changes of Land Cover in the Typical Arid Region of the Loess Plateau after the Grain for Green Project[J]. *Ecological Science*, 2017, 36(1): 139-146 (张玉东, 谭红兵. 黄土高原典型干旱区退耕还林后植被覆盖变化研究[J]. 生态科学, 2017, 36(1): 139-146)
- [6] Wang Zhichao. *Spatio-Temporal Dynamics of Vegetation Coverage and Its Relationship with Climate Factors in Lop Nor, China*[D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2018 (王智超. 基于 Landsat 的新疆罗布泊地区植被覆盖度时空变化及其与气候因子的关系[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2018)
- [7] Liu Yating, Gong Yan, Duan Bo, et al. Combining Multi-Temporal NDVI and Abundance from UAV Remote Sensing Data for Oilseed Rape Growth Monitoring[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(2): 265-272 (刘雅婷, 龚龑, 段博, 等. 多时相 NDVI 与丰度综合分析的油菜无人机遥感长势监测[J]. 武汉大学学报 信息科学版, 2020, 45(2): 265-272)
- [8] Wittich K P, Hansing O. Area-Averaged Vegetative Cover Fraction Estimated from Satellite Data[J]. *International Journal of Biometeorology*, 1995, 38(4): 209-215
- [9] Purevdorj T, Tateishi R, Ishiyama T, et al. Relationships between Percent Vegetation Cover and Vegetation Indices[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(18): 3519-3535
- [10] Chen Xuexiong, Zhang Xiaojun, Chen Yonggui, et al. Spatiotemporal Change of Vegetation Coverage in Shaanxi Province from 1998 to 2008[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2013, 38(6): 674-678 (陈学兄, 张小军, 陈永贵, 等. 陕西省 1998—2008 年植被覆盖度的时空变化研究[J]. 武汉大学学报 信息科学版, 2013, 38(6): 674-678)
- [11] Jiang Liwei, Zhang Jiaqi, Zhao Yichen, et al. Dynamic Change of Leaf Area Index in the Growing Season of Typical Forests in Beijing Mountainous Area[J]. *Forest Resources Management*, 2019(2): 132-136 (蒋丽伟, 张家琦, 赵一臣, 等. 北京山区典型林分生长季叶面积指数动态变化[J]. 林业资源管理, 2019(2): 132-136)
- [12] Qiu Ruonan.

- [https://lib.lut.edu.cn/asset/search?key=A=Qiu%2c+RuonanHan Ge, Ma Xin, et al.. A Comparison of OCO-2 SIF, MODIS GPP, and GOSIF Data from Gross Primary Production \(GPP\) Estimation and Seasonal Cycles in North America\[J\]. Remote Sensing. 2020\(2\):258-258.](https://lib.lut.edu.cn/asset/search?key=A=Qiu%2c+RuonanHan Ge, Ma Xin, et al.. A Comparison of OCO-2 SIF, MODIS GPP, and GOSIF Data from Gross Primary Production (GPP) Estimation and Seasonal Cycles in North America[J]. Remote Sensing. 2020(2):258-258.)
- [13] Niu Q F, Xiao X M, Zhang Y, et al. Ecological Engineering Projects Increased Vegetation Cover, Production, and Biomass in Semiarid and Subhumid Northern China[J]. *Land Degradation & Development*, 2019, 30(13): 1620-1631
- [14] Li Huan, Li Xinyu, Bai Songzhu. Tourism Climate Index and Evaluation in Altay Region[J]. *Journal of Shaanxi Meteorology*, 2010(5): 21-23 (李焕, 李新豫, 白松竹. 阿勒泰地区旅游气候指数及评价[J]. 陕西气象, 2010(5): 21-23)
- [15] Zhang Y, Xiao X M, Wu X C, et al. A Global Moderate Resolution Dataset of Gross Primary Production of Vegetation for 2000–2016[J]. *Scientific Data*, 2017, 4: 170165
- [16] Vicente-Serrano S M, Beguer á S, L ópez-Moreno J I. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index[J]. *Journal of Climate*, 2010, 23(7): 1696-1718
- [17] Shen Guoqiang, Zheng Haifeng, Lei Zhenfeng. Applicability Analysis of SPEI for Drought Research in Northeast China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(11): 3787-3795 (沈国强, 郑海峰, 雷振峰. SPEI 指数在中国东北地区干旱研究中的适用性分析[J]. 生态学报, 2017, 37(11): 3787-3795)
- [18] Verbesselt J, Zeileis A, Herold M. Near Real-Time Disturbance Detection Using Satellite Image Time Series[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2012, 123: 98-108
- [19] Tong X W, Brandt M, Yue Y M, et al. Increased Vegetation Growth and Carbon Stock in China Karst via Ecological Engineering[J]. *Nature Sustainability*, 2018, 1(1): 44-50
- [20] Lu H, Raupach M R, McVicar T R, et al. Decomposition of Vegetation Cover into Woody and Herbaceous Components Using AVHRR NDVI Time Series[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 86(1): 1-18
- [21] Peng Daoli, Hua Yongchun. Dynamic Monitoring of the Vegetation Restoration in Yanqing County, Beijing Based on Remote Sensing[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2008, 28(4): 159-164 (彭道黎, 滑永春. 北京延庆县植被恢复动态遥感监测研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2008, 28(4): 159-164)
- [22] Sun Jiuju, Zhang Jing, Zhang Jie, et al. The Study of Changes of Beiyunhe Valley's Vegetation Cover[J]. *Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition)*, 2007, 28(2): 93-97 (孙久虎, 张晶, 张洁, 等. 近 20 年来北运河地区植被覆盖时空变化研究[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2007, 28(2): 93-97)
- [23] Niu Quanfu, Zhang Yingxue, Feng Zunbin. Dynamic Monitoring of Vegetation Coverage Variation on Southern and Northern Two Mountains in Lanzhou[J]. *Journal of Lanzhou University of Technology*, 2017, 43(3): 146-150 (牛全福, 张映雪, 冯尊斌. 兰州南北两山植被覆盖变化动态监测[J]. 兰州理工大学学报, 2017, 43(3): 146-150)
- [24] Li Dengke, Fan Jianzhong, Wang Juan. Change Characteristics and Their Causes of Fractional Vegetation Coverage(FVC) in Shaanxi Province[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(11): 2896-2903 (李登科, 范建忠, 王娟. 陕西省植被覆盖度变化特征及其成因[J]. 应用生态学报, 2010, 21(11): 2896-2903)
- [25] Li Miaomiao. Study on Remote Sensing Estimation Method of Vegetation Coverage[D]. Beijing: Institute of Remote Sensing Application, CAS, 2003 (李苗苗. 植被覆盖度的遥感估算方法研究[D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2003)
- [26] Yang Shengtian, Liu Changming, Yang Zhifeng, et al. Natural Eco-Environmental Evaluation of West Route Area of Interbasin Water Transfer Project[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(1): 11-18 (杨胜天, 刘昌明, 杨志峰, 孙睿, 周晓东. 南水北调西线调水工程区的自然生态环境评价[J]. 地理学报, 2002, 57(1): 11-18)
- [27] Meng Haobin, Zhou Qigang, Li Minghui, et al. Topographic Distribution Characteristics of Vegetation Cover Change in the Three Gorges Reservoir Area Based on MODIS Pixel Scale[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2020, 29(8): 1790-1799 (孟浩斌, 周启刚, 李明慧, 等. 基于 MODIS 像元尺度的三峡库区植被覆盖度变化的地形分布特征[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(8): 1790-1799)
- [28] Wang Yi, Guo Yue. Analysis of Spatial Correlation between Vegetation Coverage and Terrain Factors in Karst Landform—Taking Puding Area in Guizhou for Example[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2018, 27(1): 157-167 (王毅, 郭跃. 喀斯特地貌区植被覆盖与地形因子的空间关系分析: 以贵州普定县为例[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(1): 157-167)
- [29] Chen Xiaoqiu, Wang Heng. Spatial and Temporal Variations of Vegetation Belts and Vegetation Cover Degrees in Inner Mongolia from 1982 to 2003[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(1): 84-94 (陈效述, 王恒. 1982—2003 年内蒙古植

被带和植被覆盖度的时空变化[J]. 地理学报, 2009, 64(1): 84-94)

## Vegetation dynamic change and its response to climate and topography in Altay region of Xinjiang in recent 20 years

NIU Quanfu<sup>1,2</sup> LIU Mingzhi<sup>1</sup> ZHANG Man<sup>1</sup> CHENG Weiming<sup>3,4</sup>

1 School of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China

2 Emergency Mapping Engineering Research Center of Gansu, Lanzhou 730050, China

3 College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

4 State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China

**Abstract:** **Objectives:** Vegetation plays an important role in ecological environment monitoring. Studying vegetation cover change can provide reference for regional ecological environment protection. The region of Altay in Xinjiang belongs to the ecological function zone of water conservation mountain grassland, with rich natural resources and beautiful scenery. However, the ecological environmental problems were gradually emerging under the national development strategies, such as One Belt One Road and the Silk Road Economic Belt. Therefore, monitoring the dynamics of vegetation change in the area with multi-source remote sensing data is necessary to explore the relationship between the economic development and ecological environment protection. **Methods:** This paper uses multi-source remote sensing long time series data with BFAST(breaks for additive seasonal and trend, BFAST), Topographical position and Geostatistical analysis methods to monitor the vegetation cover dynamics in Altay of Xinjiang, China during 2000-2019. **Results:** This paper processed large number of multisource remote sensing data along with human activity data and showed that during the study period, the number of vegetation breakpoints increased year by year from 2003 to 2009, and then gradually decreased after 2009. Meanwhile, seven types of vegetation breakpoint trends were detected, among them, the more number of breakpoints from degradation to growth type was identified, and the types of disturbance degradation and continuous degradation were less. From the interannual change curve, the dynamic change of vegetation coverage showed a trend of first decreasing and then increasing, that is, the vegetation coverage showed a degradation trend from 2000 to 2008 and a significant improvement trend from 2008 to 2019, and the degradation was greater than the improvement. Meanwhile, the east slope with an elevation of more than 900m and a slope of more than 15° (from north to east and from south to east) is the dominant topographic location of vegetation degradation type, accounting for 62.4%. **Conclusions:** The protection of ecological environment in Altay area of Xinjiang still needs to be further strengthened and effective protection measures should be taken.

**Key words:** vegetation cover; leaf area index; standardised precipitation-evapotranspiration index; spatio-temporal change; topographic location

**First author:** NIU Quanfu, PhD, associate professor, specializes in Remote sensing data processing. E-mail: niuqf@lut.edu.cn

**Corresponding author:** CHENG Weiming, PhD, professor. E-mail: chengwm@igsnrr.ac.cn

**Foundation support:** The National Natural Science Foundation of China(41461084); Project of industrial support plan for colleges and universities in Gansu Province(2020C-40); Construction science and technology project plan of Gansu Provincial Department of housing and urban rural development(JK2021-57).

**网络首发:**

**标题:** 近20年来新疆阿勒泰地区植被动态变化及其对气候与地形的响应

**作者:** 牛全福, 刘明志, 张曼, 程维明

**DOI:** 10.13203/j.whugis20210189

**收稿日期:** 2021-06-20

**引用格式:**

牛全福, 刘明志, 张曼, 等. 近20年来新疆阿勒泰地区植被动态变化及其对气候与地形的响应[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2022, DOI: 10.13203/j.whugis20210189 (NIU Quanfu, LIU Mingzhi, ZHANG Man, et al. Vegetation dynamic change and its response to climate and topography in Altay region of Xinjiang in recent 20 years [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, DOI: 10.13203/j.whugis20210189)

**网络首发文章内容和格式与正式出版会有细微差别, 请以正式出版文件为准!**

---

**您感兴趣的其他相关论文:**

**利用 GRACE 重力卫星反演 2003~2013 年新疆天山地区陆地水储量时空变化**

李武东, 郭金运, 常晓涛, 朱广彬, 孔巧丽

武汉大学学报·信息科学版, 2017, 42(7): 1021-1026

<http://ch.whu.edu.cn/cn/article/doi/10.13203/j.whugis20150079>