

2000—2018年甘南州植被覆盖水平时空变化

马玥, 王录仓* (西北师范大学, 甘肃兰州 730070)

摘要 基于2000—2018年MODIS EVI数据,采用Theil-Sen Median趋势分析法、Mann-Kendall检验和多元线性回归分析,研究甘南州EVI时空变化趋势和影响因素。结果表明,从年际EVI变化来看,2000—2018年甘南州草地生长季植被覆盖度呈先下降再缓慢上升的趋势,EVI均值在0.36~0.41。从空间变化看,盛草期甘南州绝大部分区域植被覆盖度较高且随时间推移而明显改善;部分地区发生了轻微退化现象。具体可以表现为高海拔地区植被退化较明显,而低海拔地区植被有改善的趋势。影响植被变化趋势的主要因素是气候和地形因素,人为因素也有显著影响。

关键词 甘南州;植被覆盖水平;时空变化;影响因素

中图分类号 S127 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)07-0068-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.07.017



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Temporal and Spatial Changes of Vegetation Coverage in Gannan Prefecture from 2000 to 2018

MA Yue, WANG Lu-cang (Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070)

Abstract Based on MODIS EVI data from 2000 to 2018, the paper used Theil-Sen Median trend analysis method, Mann-Kendall test and multiple linear regression analysis to study the temporal and spatial trends and influencing factors of EVI in Gannan Prefecture. The results showed that from the perspective of inter-annual EVI changes, during 2000—2018, the vegetation coverage of the grassland growing season in Gannan Prefecture first declined and then slowly increased, and the average EVI fluctuated between 0.36—0.41. From the perspective of spatial changes, the vegetation coverage in most areas of Gannan Prefecture during the heyday of grass was relatively high and it improved significantly with the passage of time; some areas experienced slight degradation. Specifically, it could be expressed that the vegetation degradation in high-altitude areas was more obvious, while the vegetation in low-altitude areas had a trend of improvement. The main factors affecting the vegetation change trend were climate and topography, and human factors also had a significant impact.

Key words Gannan Prefecture; Vegetation coverage level; Temporal and spatial changes; Influencing factors

作为陆地生态系统的重要部分,地表植被一直被誉作为生态环境的“指示器”^[1-2]。在全球气候变化和人类活动日益加剧的大背景下,地表植被的动态变化成为各领域关注的热点之一^[3]。植被覆盖因其变化与气候因子、人类活动等密切相关而成为评估生态系统状态的重要指标^[4]。植被覆盖度(fractional vegetation coverage, FCV)是植被在地面垂直投影面积与该地区研究面积之间的比值^[5],能够很好地监测地面植被的生长情况,是评估研究区域气候变化、土地沙漠化等生态环境质量的重要参数^[6]。

植被系统中运用较为广泛的是遥感的植被指数^[7],其中归一化差值植被指数(normalization difference vegetation index, NDVI)和增强植被指数(enhanced vegetation index, EVI)是目前常用的反映植被生长状况的指数^[8-9]。EVI是在NDVI基础上改进了算法和合成方法,它在一定条件下能很好地反映植被在空间上的差异,同时克服NDVI存在的易饱和等问题^[10]。全世界以遥感监测数据为主的植被覆盖研究较多,监测数据历经了LANDSAT-AVHRR-SPOT-MODIS的不断转变^[11],研究内容主要聚焦于植被生长环境、植被覆盖变化、时空特征等方面。其中MODIS-EVI数据在国内外学者应用下已取得较多成果。Evrendilek等^[12]根据NDVI和EVI数据发现了植被覆盖的差异;Galford等^[13]运用EVI数据对巴西农作物进行了研究。Qiu等^[14]研究表明EVI数据能同时反映高植被覆盖区的植被覆盖情况和区分低植被覆盖区

的覆盖情况;苏俊磊等^[15]研究发现西江流域的植被EVI整体呈上升趋势,EVI变化与降水量呈显著正相关;赫英明等^[16]研究发现2000—2009年我国植被覆盖度在年和季的时间尺度上变化尤为明显。

地处甘肃省西南部,青藏高原东北边缘与黄土高原接壤带的甘南藏族自治州,其不仅是黄河上游水源涵养的主体功能区,也是甘肃“三屏四带”、我国“两屏三带”生态屏障战略格局的重要组成部分^[17],同时也是我国高寒民族地区重要的畜牧业生产基地^[18]。在人类活动日益加剧、全球气候发生变化的当今时代下,甘南州也出现了草地退化、荒漠化和沙化现象^[19],从而引起了学者的关注,马琳雅^[20]结合NDVI和EVI数据,建立了甘南州草地生长季的植被覆盖反演模型,分析了2000—2011年植被覆盖与物候期的时空变化;蔡栋等^[21-22]评估了甘南草地生态系统的风险。总体来看,目前主要以NDVI数据为支撑,多采用规避误差能力较弱的一元线性回归趋势分析法来研究植被覆盖度^[15,23],且将影响因素归咎于自然因素(尤其是气候因素),并没有考虑到人类活动的相关影响,尤其对牧区和半农半牧区中放牧密度、农作物数量、人口分布等因素的考虑。鉴于此,笔者以甘南州植被主要生长期6—8月的MODIS-EVI数据为支撑,运用Theil-Sen Median趋势分析法和Mann-Kendall检验方法,系统分析2000—2018年甘南州植被覆盖水平变化趋势,并揭示其驱动机制,旨在为高寒地区生态环境评价、植被恢复和重建提供科学依据。

作者简介 马玥(1996—),女,甘肃兰州人,硕士研究生,研究方向:城市发展与规划。*通信作者,教授,博士,博士生导师,从事城乡发展与规划研究。

收稿日期 2021-11-22

1 资料与方法

1.1 研究区概况 甘南藏族自治州在甘肃省西南部,地处黄土高原与青藏高原东北边缘的过渡区,地势西北高、东南

低,按地貌类型可划分为高原区、丘陵区和高山峡谷区,大部分地区海拔在 3 100~3 900 m,属典型的高原大陆性气候,环境高寒阴湿,主要植被类型有山地森林、高寒灌丛草甸和高

寒草甸等,其中可食牧草高达 890 多种^[24]。甘南州是我国主要的藏族聚集区,也是青藏高原质量最好的放牧地^[25]。现辖 7 县 1 市,可大致分为纯牧区和半农半牧区(图 1)。

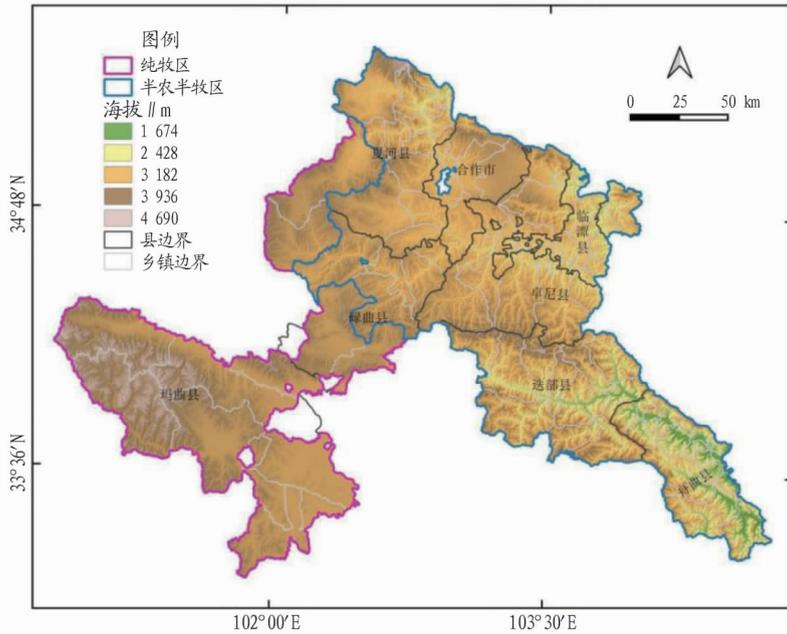


图 1 研究区示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the study area

1.2 数据来源 该研究所用到的 MOD13Q1 数据为 NASA 最新发布第六版 MODIS 陆地三级标准数据产品,空间分辨率为 250 m,数据可通过 NASA 对地观测系统数据共享平台下载(<http://deleann.gsfc.nasa.gov/-imswelcome/>)。首先对 MOD13Q1 数据进行预处理后提取了研究区甘南藏族自治州 2000—2018 年盛草时期每年 6—8 月的 EVI 数据。以 MOD11A2 数据为基础,通过拼接、投影转换和裁剪等操作后,提取甘南藏族自治州 2000—2018 年每年 6—8 月的地表温度(LST)数据。研究区的 DEM(digital elevation model)数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn/>),空间分辨率为 90 m。降水数据来源于 CHIRPS(<https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>)提供的降水产品^[26],选取 2000—2018 年每年 4—8 月降水量。人口、农作物播种面积、牲畜等数据来源于 2000—2018 年甘南州统计年鉴。

1.3 研究方法

1.3.1 Theil-Sen Median 趋势分析。Theil-Sen Median 趋势分析是用于模拟每个栅格数据的变化趋势,客观地反映一段时间序列下植被演化趋势的方法。其优点在于稳定、不要求原样本服从一定的分布、不受异常值干扰、对规避数据误差有较强的能力^[27-29]。Theil-Sen Median 趋势计算 $n(n-1)/2$ 个数据组合的斜率的中位数,计算公式如下:

$$S_{EVI} = \text{Median} \left(\frac{EVI_j - EVI_i}{j - i} \right) \quad (i \leq j) \quad (1)$$

式中, EVI_j 和 EVI_i 分别表示像元 j 年和 i 年的 EVI 值。当 $S_{EVI} > 0$ 时,表示研究期内 EVI 呈增长趋势;当 $S_{EVI} < 0$ 时,表示

呈退化趋势; $S_{EVI} = 0$, 表示无变化趋势。

1.3.2 Mann-Kendall 检验。Mann-Kendall 是用于判断趋势显著性的统计检验方法,其优点为不受少数异常值干扰且原样本无需服从一定分布^[30]。计算公式如下:

设 $\{EVI_i\} = i = 2000, 2001, \dots, 2018$, 定义 Z 统计量为:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{s(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{s(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (2)$$

其中,

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=j+1}^n \text{sgn}(EVI_j - EVI_i) \quad (3)$$

$$\text{sgn}(EVI_j - EVI_i) = \begin{cases} 1 & EVI_j - EVI_i > 0 \\ 0 & EVI_j - EVI_i = 0 \\ -1 & EVI_j - EVI_i < 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$s(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (5)$$

式中, EVI_i 和 EVI_j 分别表示像元 i 年和 j 年的 EVI 值, n 表示时间序列的长度, sgn 是符号函数,统计量 Z 的取值范围为 $(-\infty, +\infty)$ 。在给定显著性水平 α 下,当 $|Z| > u_{1-\alpha/2}$ 时,表示研究序列在 α 水平上存在显著的变化^[31]。

Theil-Sen Median 趋势分析和 Mann-Kendall 检验相结合,是对显著性水平检验的统计学理论基础的科学阐述。它能有效地反映 EVI 时空变化特征和判断植被覆盖时间序列下的数据趋势。根据 Theil-Sen Median 趋势分析中由于基本不存在 S_{EVI} 严格等于 0 的区域,所以该研究将 S_{EVI} 介于

-0.000 5~0.000 5 划分为稳定区, $S_{EVI} \geq 0.000 5$ 划分为改善区, $S_{EVI} \leq -0.000 5$ 划分为退化区。将 Mann-Kendall 检验在 $\alpha=0.05$ 置信水平上的显著性结果划分为显著变化 ($Z > 1.96$ 或 $Z < -1.96$) 和不显著变化 ($-1.96 \leq Z \leq 1.96$)。将检验的结果叠加后进行分级, 从而将像元尺度上 EVI 变化趋势划分为明显改善、轻微改善、稳定不变、轻微退化和严重退化 5 种类型(表 1)。

表 1 分级结果
Table 1 Classification results

级别 Grade	指标 Index	EVI 变化趋势 EVI change trend
1	$S_{EVI} \geq 0.000 5, Z \geq 1.96$	明显改善
2	$S_{EVI} \geq 0.000 5, -1.96 < Z < 1.96$	轻微改善
3	$-0.000 5 < S_{EVI} < 0.000 5, -1.96 < Z < 1.96$	稳定不变
4	$S_{EVI} < -0.000 5, -1.96 < Z < 1.96$	轻微退化
5	$S_{EVI} < -0.000 5, Z < -1.96$	严重退化

1.3.3 多元线性回归分析。多元线性回归模型是仅考虑各个自变量和因变量在线性条件下, 研究一个因变量和多个自变量之间线性关系的模型。同时如果出现非线性的影响条件, 则可以通过变量代换将非线性因素进行拟合后使用的模型。多元线性回归模型一般表述如下:

$$y_i = \alpha + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + e_i \quad (6)$$

式中, y_i 为因变量; x_i 为自变量; α 为截距; β 为偏回归系数, 表示其他变量不变的情况下, 第 i 个变量变化一个单位所引起的因变量变化值; e_i 为残差。

2 结果与分析

2.1 植被覆盖 EVI 时空变化 为了研究甘南州植被覆盖区域 EVI 随时间变化的特点, 每 5 年为间隔选取一次数据, 即选取 2000、2005、2010、2015 和 2018 年数据。甘南州草地植被多在 5 月开始返青, 6—8 月长势迅速^[22], 因此选取各年

6—8 月的 EVI 总和与 EVI 均值进行统计分析, 来表征当年植被覆盖状态。从图 2 可以看出, 2000—2018 年甘南州草地生长季植被覆盖总 EVI 变化幅度不大, 2005 年最小, 2000 年最大。植被覆盖度 EVI 均值先下降再缓慢上升, 在 0.36~0.41 波动。以 2005 年为拐点, 从 2000 年的 0.40 下降至 0.36, 此后呈现稳步上升态势, 表明植被整体生长状况开始好转。2005—2010 年 EVI 均值呈大幅上升态势, 2010—2018 年呈小幅波动上升。2005 年 EVI 均值最小, 这与郭妮等^[32-34]的研究结果一致, 原因在于玛曲县是整个甘南州植被覆盖度较高的区域, 对全州植被覆盖状况有明显的影响, 而 2005 年降水偏少, 且合作市、玛曲县、夏河县和舟曲县的草地生物量均有所下降, 尤其是舟曲县, 从而影响了全州的植被覆盖 EVI 均值。

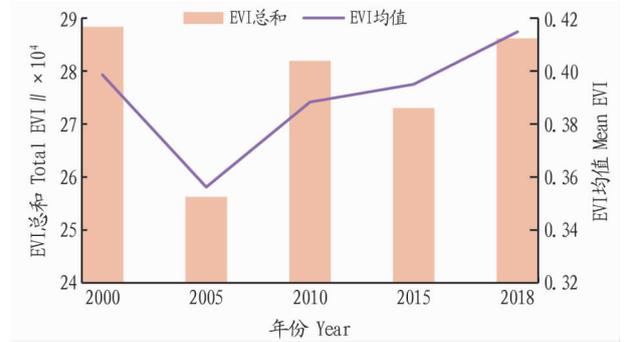


图 2 2000—2018 年 6—8 月甘南州 EVI 年际变化

Fig. 2 Interannual variation of EVI in Gannan Prefecture during Jun.-Aug. from 2000 to 2018

将 S_{EVI} 和 Z 值的结果依据表 1 分级分类, 绘制甘南州 2000—2018 年 EVI 变化分布图(图 3~4)。从图 3 可以看出, 甘南州大致可分为 3 个植被类型区^[35], 西南和西北部为草甸草原, 是主要的放牧区; 东部是丘陵山地, 为草原-森林区, 农

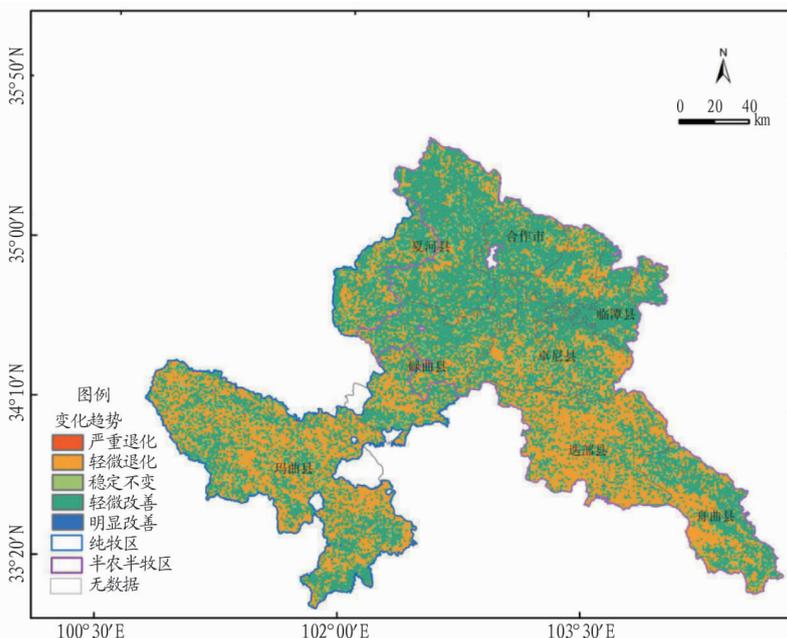


图 3 2000—2018 年甘南州 EVI 变化空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of EVI changes in Gannan Prefecture from 2000 to 2018

林牧均有;东南部为岷县至迭部一带,是主要的林区。全州植被覆盖在水平分布上南多北少,与降水量的空间分布一致;在垂直分布上,北部地区随海拔升高植被指数增加,南部地区随海拔升高植被指数减少^[22]。

从图 4 可以看出,2000—2018 年植被覆盖改善区约占全州总面积的 54.0%,退化区约占 37.0%,稳定区约占 9.0%。改善区中明显改善区占 3.9%,轻微改善区占 50.1%;退化区中严重退化约占 2.2%,轻微退化约占 34.8%。由此可见,甘南州盛草期绝大部分区域植被覆盖度较高且随时间推移而得到明显改善。

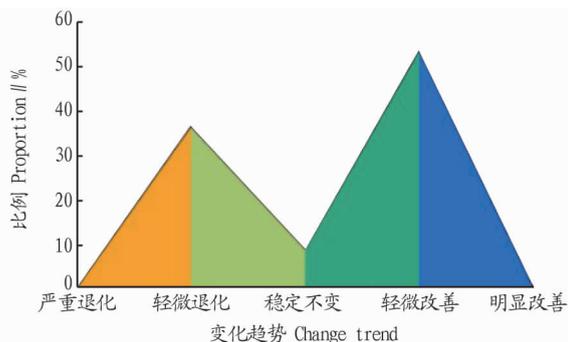


图 4 2000—2018 年甘南州 EVI 各类变化趋势所占比例

Fig. 4 The proportion of EVI trends in Gannan Prefecture during 2000—2018

图 3 显示, EVI 好转和退化在空间分布上具有异质性,由南向北 EVI 从退化逐渐转化为改善。退化区主要集中在南部的玛曲、迭部和舟曲县的西部地区;稳定不变区和改善区主要分布在北部合作、夏河和临潭。南部地区 EVI 退

化区略大于改善区,北部则相反。甘南州 EVI 变化的异质性主要原因归结为部分地区草地植被的严重退化。甘南州被誉为“亚洲最优质的天然牧场”^[20],草地植被类型丰富、盖度高,是天然放牧业的物质基础,自 2013 年起,90%以上的草地出现了“三化”^[22],特别是玛曲、碌曲和夏河较为严重。其中玛曲县境内出现了大约 30 处大型沙化点,夏河和碌曲的超载放牧和生态破坏使得草地盐渍化现象逐渐加重^[36]。尽管退牧、休牧和轮牧政策实施后,草原恢复取得一定效果^[37],但长期的超载放牧使得草地生态系统很难在短时间内完全恢复^[38]。

2.2 植被覆盖影响因素 植被覆盖度变化的基础性和关键性因素是气候因素,影响植被生长和分布的是植物的光合作用、呼吸作用和土壤有机碳的积累分解,这些都是通过温度和降水来有效调控和影响的。人类活动可以局部改变植被生长的立地条件,削弱植被生长对气候的依赖性,从而影响植被覆盖度演变的过程和格局^[39]。总的来说,植被覆盖度发生变化主要是自然和人为共同作用的结果。该研究结合甘南州实际,运用多元线性回归模型来分析 EVI 变化的影响因素。

该研究定义因变量为各乡镇平均增强植被指数 (EVI_{mean}),自变量人口密度 (PopDensity,反映人口压力)、农作物播种面积占比 (NZW_{BL},反映人类强度和对高寒牧区天然植被的改造力度)、羊单位密度 (SUdensity,反映草场实际压力和草畜平衡关系)、平均海拔 (Ele_{mean})、平均地表温度 (LST_{mean})、6—8 月平均降水量 (perc_{mean})、平均坡度 (slop_{mean}),均刻画植被生成的立地条件。并将因变量细分为轻微改善和轻微退化 2 种。

表 2 轻微退化面积占比回归系数

Table 2 Regression coefficient of the proportion of slightly degraded area

变量 Variable	未标准化的系数 Unstandardized coefficients		标准化后的系数 Beta Normalized coefficient Beta	T 检验值 T-test value	Sig.
	B	标准误差 SE			
常数 Constant	-80.193	22.765		-3.523	0.001
Ele _{mean}	0.023	0.005	0.575	4.506	0.000
slop _{mean}	1.547	0.295	0.608	5.245	0.000
PopDensity	-0.077	0.370	-0.019	-1.080	0.036
NZW _{BL}	-1.287	1.985	-0.067	-0.649	0.518
SUdensity	-0.001	0.017	-0.003	-0.034	0.973
LST _{mean}	1.763	0.322	0.398	5.468	0.000
perc _{mean}	-0.121	0.106	-0.125	-1.137	0.259

表 3 轻微改善面积占比回归系数

Table 3 Regression coefficient of the proportion of slightly improved area

变量 Variable	未标准化的系数 Unstandardized coefficients		标准化后的系数 Beta Normalized coefficient Beta	T 检验值 T-test value	Sig.
	B	标准误差 SE			
常数 Constant	140.458	23.545		5.966	0.000
Ele _{mean}	-0.016	0.005	-0.408	-3.112	0.003
slop _{mean}	-1.461	0.305	-0.571	-4.790	0.000
PopDensity	0.249	0.383	0.062	0.649	0.518
NZW _{BL}	2.586	2.053	0.135	1.260	0.011
SUdensity	-0.008	0.017	-0.038	-0.471	0.639
LST _{mean}	-1.800	0.334	-0.404	-5.396	0.000
perc _{mean}	0.157	0.110	0.162	1.431	0.156

从表2可以看出,平均海拔(Ele_mean)、平均坡度(slop_mean)、人口密度(PopDensity)和平均地表温度(LST_mean)对植被退化具有影响显著,其余因素由强到弱依次为平均降水量(prec_mean)、农作物播种面积占比(NZW_BL)、羊单位密度(SUdensity),说明人类活动对植被轻微退化有影响。当因变量为轻微改善面积占比时(表3),平均海拔、平均坡度、农作物播种面积占比、平均地表温度的显著性水平小于0.05,即回归参数通过显著性水平检验,说明地形、气候以及人为耕作等自然和人文双重因素对植被覆盖改善有显著影响。

总的来看,对植被退化或改善影响显著的因素是气候因素,较为显著的是人为因素。具体表现为高海拔地区退化较明显,而低海拔地区植被有改善;农作物播种面积占比、放牧羊单位密度等一定程度上对植被退化有影响。这与冯琦胜等^[40]的研究结论一致。甘南地处青藏高原高寒区,气候变化和地形因素是引起植被退化、空间分布不均匀的主要因素。但也有研究指明,超载放牧是甘南州草地植被退化的直接驱动因素,气候异常扰动是次要因素,且尤以玛曲县较为明显^[41-42]。可见,作为国家生态恢复工程的实施区域之一的甘南,在一定程度上和时间段内地区植被覆盖度对气候因子变化的敏感性显著降低,此时人为影响强度明显增加^[17]。这与该研究的结果略有出入,原因在于该研究的研究时间为每年的6—8月,即牧草的主要生长季与农作物的生长期不完全重合,削弱农作物对植被退化的影响程度;其次是2005年后,在生态保护政策的作用下,全州生态保护意识普遍加强,导致EVI指数有所提升。而南部迭部、舟曲等农林区则受人为因素的影响较大。

3 结论

该研究基于MOD13Q1数据产品中的MODIS-EVI数据,利用2000—2018年6—8月EVI时间序列数据,采用Theil-Sen Median趋势分析法、Mann-Kendall检验和多元线性回归分析,研究了甘南藏族自治州EVI时空变化趋势和影响因素,得出以下主要结论:

(1)全州植被覆盖在水平分布上呈现出南多北少态势;在垂直分布上北部地区随海拔升高而植被指数增加,南部地区随海拔升高植被指数减少。除2005年外,其余年份植被覆盖水平均呈现缓慢上升趋势,表明盛草期绝大部分区域植被覆盖度较高,植被覆盖状况逐年良好。

(2)甘南州植被覆盖改善比例(约54.0%)高于植被退化比例(37.0%),表明植被整体趋势趋于好转,整体稳定性呈增加趋势,也有部分地区因各类因素作用下植被覆盖度发生了退化的现象且大多为轻微退化现象。由南向北EVI从退化逐渐转变为改善。植被覆盖退化区主要集中在南部的玛曲、迭部;植被覆盖改善区主要分布在北部地区。玛曲、迭部和碌曲以草地为主的区域发生了植被退化现象。

(3)多元线性回归分析结果表明,气候因素对植被退化或改善有显著影响,其次是人为因素。

参考文献

[1] 李美丽,尹礼昌,张园,等.基于MODIS-EVI的西南地区植被覆盖时空

- 变化及驱动因素研究[J].生态学报,2021,41(3):1138-1147.
- [2] JIANG L L,JIAPAER G,BAO A M,et al. Vegetation dynamics and responses to climate change and human activities in Central Asia[J]. Science of the total environment,2017,599/600:967-980.
- [3] CUI L L,SHI J. Temporal and spatial response of vegetation NDVI to temperature and precipitation in eastern China[J]. Journal of geographical sciences,2010,20(2):163-176.
- [4] 方德泉,胡宝清. 2000—2016年广西西江流域植被覆盖时空变化[J]. 大众科技,2019,21(10):28-31.
- [5] 张云霞,李晓兵,陈云浩. 草地植被盖度的多尺度遥感与实地测量方法综述[J]. 地球科学进展,2003,18(1):85-93.
- [6] MOREAU S,BOSSENO R,GU X F,et al. Assessing the biomass dynamics of Andean bofedal and tofora high-protein wetland grasses from NOAA/AVHRR[J]. Remote sensing of environment,2003,85(4):516-529.
- [7] 尚雪,何钊全,张铜会. 增强型植被指数时空变化特征及其驱动机理[J]. 森林与环境学报,2020,40(5):478-485.
- [8] OTTO M,HÖPFNER C,CURIO J,et al. Assessing vegetation response to precipitation in northwest Morocco during the last decade: An application of MODIS NDVI and high resolution reanalysis data[J]. Theoretical and applied climatology,2016,123(1/2):23-41.
- [9] 陈燕丽,罗永明,莫伟华,等. MODIS NDVI与MODIS EVI对气候因子响应差异[J]. 自然资源学报,2014,29(10):1802-1812.
- [10] 李红军,郑力,雷玉平,等. 基于EOS/MODIS数据的NDVI与EVI比较研究[J]. 地理科学进展,2007,26(1):26-32.
- [11] 屈瑶瑶. 基于MODIS EVI数据的湖南省植被覆盖变化与极端气温的关系研究[D]. 湘潭:湘潭大学,2019.
- [12] EVRENDILEK F,GULBEYAZ O. Deriving vegetation dynamics of natural terrestrial ecosystems from MODIS NDVI/EVI data over Turkey[J]. Sensors,2008,8(9):5270-5302.
- [13] GALFORD G L,MUSTARD J F,MELILLO J,et al. Wavelet analysis of MODIS time series to detect expansion and intensification of row-crop agriculture in Brazil[J]. Remote sensing of environment,2008,112(2):576-587.
- [14] QIU B W,ZENG C Y,TANG Z H,et al. Characterizing spatiotemporal non-stationarity in vegetation dynamics in China using MODIS EVI dataset[J]. Environmental monitoring and assessment,2013,185(11):9019-9035.
- [15] 苏俊磊,罗为群,王广哲,等. 基于MODIS-EVI的广西西江流域植被时空变化特征及其影响因素[J]. 水土保持研究,2019,26(3):232-238.
- [16] 赫英明,刘向培,王汉杰. 基于EVI的中国最近10a植被覆盖变化特征分析[J]. 气象科学,2017,37(1):51-59.
- [17] 王伟军,赵雪雁,方文玉,等. 2000—2014年甘南高原植被覆盖度变化及其对气候变化的响应[J]. 生态学杂志,2016,35(9):2494-2504.
- [18] 马琳雅,崔霞,冯琦胜,等. 2001—2011年甘南草地植被覆盖度动态变化分析[J]. 草业学报,2014,23(4):1-9.
- [19] 赵雪雁. 高寒牧区生态移民、牧民定居的调查与思考:以甘南牧区为例[J]. 中国草地学报,2007,29(2):94-101.
- [20] 马琳雅. 甘南州草地植被覆盖度与物候期时空变化动态特征[D]. 兰州:兰州大学,2013.
- [21] 蔡栋. 高寒草地生态系统风险评价:以甘南地区为例[D]. 兰州:兰州大学,2019.
- [22] 敖泽建,王建兵,蒋友严,等. 2000—2017年甘南牧区植被变化特征及其影响因子[J]. 沙漠与绿洲气象,2020,14(1):95-100.
- [23] 蔡博峰,于燥. 基于遥感的植被长时序趋势特征研究进展及评价[J]. 遥感学报,2009,13(6):1170-1186.
- [24] 张卓. 2000—2013年甘南州植被覆盖变化的驱动力研究[D]. 兰州:兰州交通大学,2015.
- [25] 梁天刚,崔霞,冯琦胜,等. 2001—2008年甘南牧区草地上生物量与载畜量遥感动态监测[J]. 草业学报,2009,18(6):12-22.
- [26] 刘冀,魏榕,张特,等. 基于CHIRPS卫星降水的雅砻江流域干湿时空演变分析[J]. 长江流域资源与环境,2020,29(8):1800-1811.
- [27] 方利,王文杰,蒋卫国,等. 2000—2014年黑龙江流域(中国)植被覆盖时空变化及其对气候变化的响应[J]. 地理科学,2017,37(11):1745-1754.
- [28] 袁丽华,蒋卫国,申文明,等. 2000—2010年黄河流域植被覆盖的时空变化[J]. 生态学报,2013,33(24):7798-7806.
- [29] 张亮林,潘宽虎. 中国PM_{2.5}人口暴露风险时空格局[J]. 中国环境科学,2020,40(1):1-12.

出根,但根较弱,难以吸收营养物质,不适合炼苗和移栽。综合说明培养基中添加激素可以促进器官诱导,而不同激素组合

对同一种诱导有不同效应。组织培养的过程中根据 RT-PCR 检测方法可检测脱毒苗是否脱毒成功,检测过程灵敏快捷。

表 3 不同培养基对根诱导的影响

Table 3 Effects of different medium components on roots induction

处理 Treatments	培养基 Culture medium	根生长情况 Root growth	平均根数量 Average number of roots//条	生根率 Rooting rate//%	成活率 Survival rate//%
Z ₁	1/2MS+NAA 0.5 mg/L	粗、壮	7	100	99.2
Z ₂	1/2MS+NAA 0.3 mg/L	稍细、壮	8	100	93.0
Z ₃	1/2MS	较细、根弱	5	89	91.2



图 7 生根培养情况

Fig. 7 Rooting culture

该研究在短时间内可完成越南紫薯植株再生和病毒检测过程,实现了再生体系的建立,该体系的建立对越南紫薯快速繁殖和规模化生产有着重要的指导意义。根据相关报道,我国每年因甘薯病毒病而造成的损失极大^[14],而高效的茎尖脱毒体系将会大大降低损失,因此推广优质的甘薯品种病毒检测体系及茎尖脱毒体系势在必行。

参考文献

[1] LUAN Y S,ZHANG J,LIU D M,et al. Molecular characterization of sweet

potato leaf curl virus isolate from China (SPL CV-CN) and its phylogenetic relationship with other members of the Geminiviridae [J]. Virus genes, 2007,35(2):379-385.

[2] LOZANO G,TRENADO H P,VALVERDE R A,et al. Novel begomovirus species of recombinant nature in sweet potato (*Ipomoea batatas*) and *Ipomoea indica*;Taxonomic and phylogenetic implications [J]. Journal of general virology,2009,90(10):2550-2562.

[3] 何海旺,何虎翼,谭冠宁,等. 反向斑点杂交法快速检测甘薯羽状斑驳病毒和甘薯 G 病毒[J]. 南方农业学报,2014,45(1):43-48.

[4] 王关林,刘娟. 甘薯病毒的分子生物学研究进展[J]. 商丘师范学院学报,2009,25(3):7-15.

[5] 张盼,兰新芝,乔奇,等. 甘薯病毒病害 (SPVD) 的多重 RT-PCR 检测方法及其应用[J]. 植物保护,2013,39(2):86-90,100.

[6] CLARK C A,HOY M W. Effects of common viruses on yield and quality of Beauregard sweetpotato in Louisiana[J]. Plant disease,2006,90(1):83-88.

[7] 王丰. 甘薯病毒病脱毒技术及检测[J]. 植物检疫,2003,17(5):295-298.

[8] 林林,陈炯,郑红英,等. 甘薯羽状斑驳病毒分离物的基因组 3'-末端序列测定与分析[J]. 浙江农业学报,2003,15(4):211-214.

[9] 王升吉,尚佑芬,杨崇良,等. 甘薯羽状斑驳病毒分子生物学研究概况[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2001,32(4):539-543.

[10] 张希太,张彦波,肖磊,等. 指示植物检测甘薯病毒技术的改进研究[J]. 西南农业学报,2014,27(4):1509-1513.

[11] 孟令文. 甘薯茎尖脱毒及快繁技术研究[J]. 杂粮作物,2010,30(6):414-415.

[12] 卢玲,聂建建,王学华. 甘薯脱毒苗培育的研究进展[J]. 安徽农业科学,2013,41(4):1456-1458.

[13] 王林生,马晓玉. 甘薯脱毒技术的研究与应用[J]. 种子,2005,24(10):51-53.

[14] 乔奇,张德胜,秦艳红,等. 中国甘薯病毒种类的初步鉴定[C]//郭泽建,侯明生. 中国植物病理学会 2011 年学术年会论文集. 北京:中国农业科学技术出版社,2011.

(上接第 72 页)

[30] KENDALL M G. Rank correlation methods[M]. London:Charles Griffin, 1970.

[31] 代子俊,赵霞,李冠稳,等. 基于 GIMMS NDVI 3g, v1 的近 34 年青海省植被生长季 NDVI 时空变化特征[J]. 草业科学,2018,35(4):713-725.

[32] 郭妮,韩天虎,王静,等. 玛曲退牧还草工程生态效果的遥感监测[C]//中国气象学会医学气象学委员会,兰州大学大气科学学院. 第 26 届中国气象学会年会气候环境变化与人体健康分会场论文集. 北京:中国气象学会,2009:11.

[33] 李森,范航清,邱广龙,等. 不同潮区矮大叶藻地上高度和覆盖度以及生物量的动态变化[J]. 广西科学,2012,19(3):276-278,288.

[34] 王静,郭妮,王振国,等. 甘南草地地上部生物量遥感监测模型[J]. 干旱气象,2010,28(2):128-133.

[35] 王莹,夏文韬,梁天刚,等. 基于 MODIS 植被指数的甘南草地净初级生

产力时空变化研究[J]. 草业学报,2010,19(1):201-210.

[36] 王建宏. 甘肃甘南黄河重要水源补给生态功能区生态保护与建设规划研究[R]. 甘肃省生态环境监测监督管理局,2011.

[37] 郑伟,董全民,李世雄,等. 放牧对环青海湖高寒草原主要植物种群生态位的影响[J]. 草业科学,2013,30(12):2040-2046.

[38] 王静,郭妮,蔡迪花,等. 玛曲县草地退牧还草工程效果评价[J]. 生态学报,2009,29(3):1276-1284.

[39] 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):1255-1268.

[40] 冯琦胜,尚占环,梁天刚,等. 甘肃省玛曲县沼泽湿地遥感监测与动态变化分析[J]. 湿地科学,2008,6(3):379-385.

[41] 郭述茂. 基于 3S 技术的高寒草地植被覆盖度分布特征及动态变化研究[D]. 兰州:兰州大学,2009.

[42] 姚玉璧,邓振镛,尹东,等. 黄河重要水源补给区甘南高原气候变化及其对生态环境的影响[J]. 地理研究,2007,26(4):844-852.