

滇东南喀斯特地区植被覆盖变化及其影响因素

丁文荣

(云南师范大学 旅游与地理科学学院, 昆明 650500)

摘 要:利用 MODIS NDVI 数据资料集、标准气象站点的气候数据及社会经济统计数据,辅以叠置分析、空间统计分析和相关分析等方法,探讨了滇东南喀斯特地区植被覆盖的时空变化特征及其与气候因子、人类活动的关系。结果表明:滇东南喀斯特地区植被 4 月上旬进入生长季而 9 月中旬结束,2001—2010 年植被覆盖呈现出上升的趋势,NDVI 增加速率为 0.03/10 a;滇东南喀斯特地区植被覆盖呈增加和减少趋势的面积分别占总面积的 70.03%和 29.97%,植被 NDVI 减少最为突出的区域主要集中在人口聚集的城镇周围及河流沿线,而增加的区域主要集中在高海拔山区;气候影响因素中的水分类因素即平均相对湿度、最小相对湿度和降水是滇东南喀斯特地区植被 NDVI 年内变化主要的影响因素,其影响有 2 个月左右的滞后期,温度类气候因子的滞后期为 3 个月左右,其他类型的气候因子滞后期约为 2 个月;滇东南喀斯特地区实施的退耕还林工程,极大地提升了植被覆盖度,而城镇化过程则使得城镇周边的极低、低植被覆盖度区面积增加。

关键词:植被覆盖;时空变化;气候因子;退耕还林;滇东南喀斯特地区

中图分类号:TP79

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)06-0227-05

Temporal and Spatial Evolution Characteristics of Vegetation NDVI and Its Driving Factors in Karst Area of Southeast Yunnan, China

DING Wenrong

(1. College of Tourism and Geography Science, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China)

Abstract:Based on the MODIS NDVI(Normal Difference Vegetation Index, NDVI) data sets, climate data from standard meteorological stations and socio-economic statistical data, overlay analysis, spatial statistical analysis methods and correlation analysis were employed to study the characteristics of temporal and spatial variation of vegetation NDVI, and the relationship between NDVI, climatic factors and human activity in Karst area of southeast Yunnan. The results show that growing season in Karst area of southeast Yunnan starts from early May and ends around mid-term September, vegetation NDVI presented a rising trend from 2001 to 2010, the rate was 0.03/10 a, the vegetation coverage area demonstrated an increasing trend. With respect to the change in vegetation coverage in Karst area of southeast Yunnan, the areas of increase and decrease of vegetation coverage were 70.03%, 29.97% of the total area of Karst area of southeast Yunnan, respectively. The most prominent areas of vegetation NDVI decrease are mainly around the cities and towns which have a large population, and the increased areas mainly concentrated in the high-altitude areas. The average relative humidity, minimum relative humidity and precipitation are the main factors affecting annual change of the vegetation NDVI, their impaction has about two months lag phase, the temperature factor has about for three months lag phase, and the other types of climatic factors have about two months period of lag phase. The implementation of returning land for farming to forestry plays a key role in the enhancement of the vegetation coverage in Karst area of southeast Yunnan, while the process of urbanization leads to vegetation degradation.

Keywords:vegetation NDVI; temporal and spatial variation; climatic factors; returning land for farming to forestry; Karst area of southeast Yunnan

植被作为陆地生态系统重要组成部分,是生态系统中物质循环与能量流动中枢,也是对人类社会经济活动有重要贡献的资源。植被覆盖度指示了植被的茂密程度及植物进行光合作用面积的大小,是反映地表植被生长态势的重要指标和描述生态系统的重要基础数据,对区域生态系统环境变化有着重要指示作用^[1]。其中,植被指数是对地表植被覆盖度和生长情况的一种反映,通过植被指数可以评价植被覆盖、生长状况和生物量等。在众多的植被指数中,归一化植被指数(Normal Difference Vegetation Index, NDVI)是目前最为常用的表征植被状况的指标,能够在较大时空尺度上客观反映研究区植被覆盖信息。自 20 世纪 90 年代以来,国内外众多学者就基于 NDVI 数据研究了植被覆盖空间变化特征及其与气候、人类活动的关系,得到了很多有意义的成果^[2]。发现北半球植被活动呈现增强趋势,中纬度地区尤为明显^[3-5]。此外,还发现人类活动对植被覆盖有多重影响,既可以通过植被恢复和水土保持等措施促进植被覆盖的增加,也会通过毁林开荒等活动导致植被覆盖的降低^[6-7]。

滇东南喀斯特地区人口众多、地形条件复杂、生态环境脆弱,是云南省岩溶地貌最发育的地区,集中了云南省喀斯特地貌的 43.71% 以上。长期以来,当地群众依靠毁林毁草、陡坡开荒来解决日益增长的物质需求量,未能正确处理好发展生产和保护生态环境、开发利用资源与保护增值资源之间的关系,导致森林覆盖减少、生态平衡被破坏、生态状况逐步恶化和水土流失日趋严重等后果。形成了越垦越穷、越穷越垦的恶性循环,“缺粮,缺水,缺柴”成为了该区贫困的普遍特征。1999 年,我国启动退耕还林工程,滇东南喀斯特地区也于 2002 年全面启动了退耕还林工程。但是,在这一时期滇东南喀斯特地区的植被覆盖发生了怎样的变化? 植被变化在时空上有什么特征? 这种变化的主要影响因素是什么? 这些问题到目前为止仍未弄清楚。基于此背景,本文基于 ArcGIS 10.2 空间分析平台,辅以叠置分析、空间统计分析和相关分析等,研究该区植被覆盖的时间空间分布格局和变化特征,并探讨了其影响因素,及时为该区生态保护与社会经济可持续发展提供决策依据。

1 研究区概况

滇东南喀斯特地区包括文山壮族苗族自治州和红河哈尼族彝族自治州,位于 101°48′—106°52′E 和 22°31′—24°47′N(图 1),面积约 6.51 万 km²,占云南省国土面积的 17.2%。地势北高南低,起伏和缓,大部分地区海拔在 1200~1800 m,最高处红河州金平

县西南部西隆山海拔为 3019.3 m,最低处在河口县红河与南溪河汇合处,海拔仅 76.4 m,这也是云南海拔最低点。地貌以中山山地、溶蚀丘陵地貌、断陷溶蚀盆地、喀斯特各类微地貌和溶蚀河谷为主。年平均降水量 1211.6 mm,降雨日数为 152 d,干湿季分明,5—10 月为雨季,雨量占全年雨量的 82%;11 月至次年 4 月为干季,雨量占年雨量的 18%。年平均气温 18.8℃,最热月(7 月)平均温度 16.5~27.5℃,最冷月(1 月)平均温度 5.5~14.5℃,全年无霜期 356 d,日照时数 2228.9 h,≥10℃ 积温 5000~7600℃。全年盛行偏东南风,属亚热带季风气候,随海拔高低,兼有中亚热带、北亚热带、南亚热带和温带气候。土壤类型以黄壤、黄棕壤为主,植被类型多样,多为次生植被和人工植被。河流分属珠江、红河两大水系。

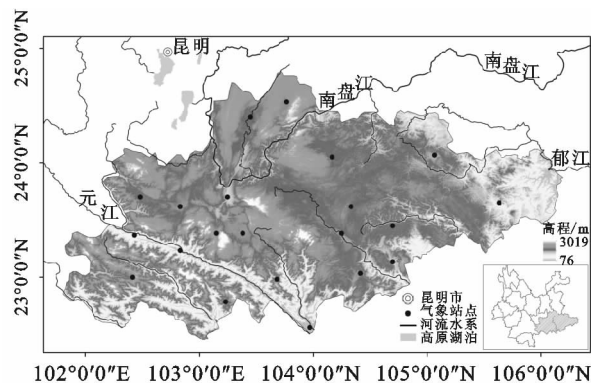


图 1 滇东南喀斯特地区与气象站点分布

2 数据与方法

本研究所用数据主要包括 MODIS NDVI 植被数据、气象数据和社会经济数据等。其中 NDVI 数据为 NASA MODIS 陆地产品组根据统计算法开发的 MODIS 植被指数产品 MOD13Q1 (<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>),其时间跨度为 2001 年 1 月 1 日至 2010 年 12 月 31 日,时间分辨率为 1 日,空间分辨率为 1000 m。对所获得的 MOD13 Q1 遥感数据集,采用 ArcGIS 10.2 进行子集提取、图像镶嵌、数据格式转换、投影转换及质量检验等预处理后,采用最大值合成 MVC(Maximum Value Composites)法^[8]对 MODIS NDVI 数据进行计算,获得质量可靠的植被 NDVI 旬和年时间尺度数据集。MVC 法计算公式如下:

$$NDVI_{mi} = \max(NDVI_{ij}) \quad (1)$$

式中:NDVI_{mi} 代表第 i 个 10 d 周期的 NDVI 最大化合成值;NDVI_{ij} 代表第 i 个 10 d 周期内第 j 天的 NDVI 值。

气象数据为 2001 年 1 月 1 日至 2010 年 12 月 31 日滇东南喀斯特地区内 21 个站点资料(图 1),该数据

源于云南省气象局资料中心和中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.nmic.cn/home.do>),经过严格的质量控制,包括连续性检验、极值检验和时间一致性检验。对收集到气候资料,采用泰森多边形法^[9]将不同站点的气象数据转化为研究区的面值气象数据。

此外,使用相关分析时^[2],基于 IBM SPSS Statistics V19.0 软件完成。

3 滇东南喀斯特地区植被 NDVI 变化特征

3.1 植被 NDVI 时间变化

植被覆盖度可由遥感影像反演的 NDVI 充分反映,植被覆盖度愈好,NDVI 值愈大^[10]。统计表明,2001—2010 年滇东南喀斯特地区 NDVI 的旬平均值为 0.62。从图 2A 中可以看出,就逐旬来看,滇东南喀斯特地区 NDVI 值变化非常明显,呈单峰型,波动于 0.54~0.73,3 月下旬为一年中的最低值 0.54,而 9 月份中旬达最高值 0.73。3 月份下旬达到最低值后,逐步开始回升,4 月上旬进入生长季,5 月、6 月份缓慢上升,7 月、8 月升速最快,9 月份中旬达到峰值

后生长季结束,10 月后开始下降,并一直持续到第二年 3 月份。

从年际来看,最大化年值 NDVI 数据散点图中能清晰的看出,研究时段内年均植被 NDVI 波动于 0.55~0.60,2005 年 0.55 为最低值,而 2006 年 0.60 则为最高值(图 2B)。2001—2010 年植被 NDVI 呈现出上升的趋势,速率为 0.03/10 a,表明滇东南喀斯特地区植被盖度整体朝增加的方向发展,生态环境有所改善。

为探讨滇东南喀斯特地区植被 NDVI 年际变化特征,参考甘春英等的研究结果^[10],将滇东南喀斯特地区 NDVI 值划分为五级,分级标准为:NDVI<0.10 时为极低植被覆盖度,0.10≤NDVI<0.30 时为低植被覆盖度,0.30≤NDVI<0.50 时为中植被覆盖度,0.50≤NDVI<0.70 时为中高植被覆盖度和 NDVI≥0.70 时为高植被覆盖度。2001 年和 2010 年各级别植被 NDVI 变化状况见表 1。从表 1 中可以看出,滇东南喀斯特地区植被覆盖面积最大的分别是中植被覆盖度区和中高植被覆盖度区,2001 年两者分别占滇东南喀斯特地区总面积的 24.78%和 70.99%,而 2010 年两者则分别占 17.47%和 76.36%。

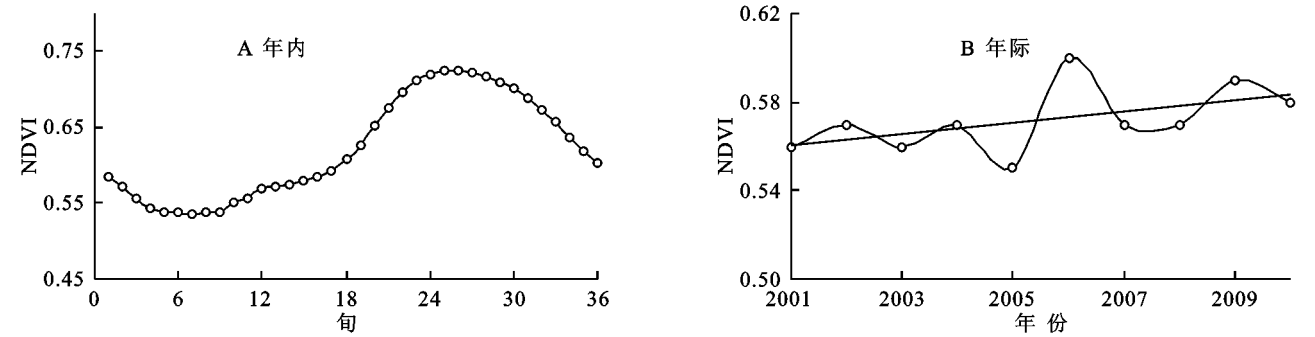


图 2 滇东南喀斯特地区植被 NDVI 变化

表 1 2001—2010 年滇东南喀斯特地区 NDVI 变化序列

年份	极低植被覆盖度	低植被覆盖度	中植被覆盖度	中高植被覆盖度	高植被覆盖度
2001 年	15.28/0.02	125.04/0.19	16130.86/24.78	46213.05/70.99	2615.77/4.02
2010 年	5.23/0.01	139.11/0.21	11373.74/17.47	49707.31/76.36	3874.61/5.95
变化状况	-10.05	14.07	-4757.12	3494.26	1258.84

注:表中/后数字为该植被覆盖度面积占当年滇东南喀斯特地区总面积的比例(%)。

此外,从表 1 中也可以看出,自 2001—2010 年,滇东南喀斯特地区各级别植被 NDVI 变化存在很大差异。除了极低植被覆盖度区和中植被覆盖度区面积呈现出减少趋势外,其他等级植被覆盖度区面积都呈现出增加的趋势。其中,极低植被覆盖度区面积减少了 10.05 km²,中植被覆盖度区面积减少 4 757.12 km²,而低植被覆盖度区面积、中高植被覆盖度区面积和高植被覆盖度区面积则分别增加了 14.07, 3 494.26,1 258.84 km²。可见,中植被覆盖度区面积的减少主要是由于中高植被覆盖区和高植被覆盖

区面积的增加。

3.2 植被 NDVI 空间变化

采用空间叠置分析方法,计算了滇东南喀斯特地区 2001—2010 年的植被 NDVI 变化情况(附图 7)。从图中可以看出,植被 NDVI 急剧减少即减少大于 0.20 以上的区域主要集中在城镇周边,其中个旧市、开远市、蒙自市、石屏县及文山市首府所在地周边最为突出。此外,植被 NDVI 减少的区域还体现出沿着河流一线的特点,如元江干流及其支流藤条江、南溪河和盘龙江,南盘江干流及其支流甸溪河与清水

江,郁江上游西洋江和泸江上游普梅河等。从图 3 中还可以看出,滇东南喀斯特地区植被主要为增加为主,增加最为显著的区域主要集中在高海拔山区,如元江西岸的哀牢山、屏边县大围山、文山市薄竹山、马关县古林箐及弥勒市金顶山等山区。

从滇东南喀斯特地区 NDVI 变化情况的统计结果来看(表 2),自 2001—2010 年:NDVI 值减少 0.2 以上的区域及减少 0.2 至 0.1 的区域两者面积仅占滇东南喀斯特地区的 0.69%,约 447.49 km²;NDVI

值增加 0.1 至 0.2 的区域及增加 0.2 以上的区域两者面积也有限,相当于滇东南喀斯特地区的 4.20%,面积 2 730.36 km²;NDVI 值减少为 0.1 以内和增加 0.1 以内的区域是最为突出的,前者约占滇东南喀斯特地区总面积的 29.29%,即 19 065.87 km²,而后者约占滇东南喀斯特地区总面积的 65.83%,即 42 856.29 km²。整体而言,滇东南喀斯特地区植被覆盖呈增加和减少趋势的面积分别占总面积的 70.03%和 29.97%。

表 2 2001—2010 年滇东南喀斯特地区 NDVI 变化序列

变化情况	$\Delta < -0.2$	$-0.2 \leq \Delta < -0.1$	$-0.1 \leq \Delta < 0$	$0 \leq \Delta < +0.1$	$+0.1 \leq \Delta < +0.2$	$\Delta \geq +0.2$
面积/km ²	29.35	418.14	19065.87	42856.29	2713.47	16.89
百分比/%	0.05	0.64	29.29	65.83	4.17	0.03

注:表中 Δ 代表 NDVI 变化值,‘-’表示减少而‘+’表示增加。

4 滇东南喀斯特地区植被 NDVI 变化的驱动因素

植被 NDVI 的时空变化影响要素是多方面的,可以概括为自然方面和人为影响方面。短时间尺度上自然因素特别是气温与降水变化往往是导致植被 NDVI 变化的主控因子,而长时间尺度上土地利用转型和渐变均有利于促进植被盖度恢复,对植被恢复的贡献更突出^[11]。

4.1 气候因子与植被 NDVI 变化

已有研究表明,气候对植被覆盖的影响主要表现为

对植被生长期年内韵律的控制方面^[1,4]。基于此,利用 2001—2010 年滇东南喀斯特地区逐旬 NDVI 值序列计算与同旬降水量、平均相对湿度、最小相对湿度、平均水汽压、平均气温、日最低气温、日最高气温、日照时数、平均风速和平均气压 10 个气候因子的相关性(表 3)。结果表明,滇东南喀斯特地区植被 NDVI 与同期各气候因子的相关性从大到小排序为:平均相对湿度>平均水汽压>最小相对湿度>平均气温>最低气温>降水>最高气温>平均气压>日照时数>风速。可以看出,从旬时间尺度来看,当前植被 NDVI 是各气候要素综合作用的结果,但与单个气候要素的相关系数都较小。

表 3 2001—2010 年滇东南喀斯特地区旬 NDVI 序列与同期及前 1—9 旬气候因子相关系数

期号	P	R_{mean}	R_{min}	V	T_{mean}	T_{min}	T_{max}	S	W	P_v
当前旬	0.308**	0.543**	0.406**	0.495**	0.318**	0.393**	0.242**	-0.277**	-0.733**	0.002
前 1 旬	0.418**	0.552**	0.422**	0.612**	0.439**	0.514**	0.354**	-0.290**	-0.743**	-0.128*
前 2 旬	0.519**	0.551**	0.438**	0.711**	0.541**	0.617**	0.447**	-0.304**	-0.735**	-0.253**
前 3 旬	0.602**	0.538**	0.447**	0.789**	0.626**	0.702**	0.523**	-0.317**	-0.703**	-0.371**
前 4 旬	0.670**	0.512**	0.449**	0.846**	0.693**	0.768**	0.583**	-0.320**	-0.652**	-0.478**
前 5 旬	0.715**	0.472**	0.439**	0.879**	0.742**	0.813**	0.626**	-0.313**	-0.579**	-0.571**
前 6 旬	0.731**	0.407**	0.401**	0.884**	0.773**	0.834**	0.659**	-0.276**	-0.488**	-0.646**
前 7 旬	0.722**	0.322**	0.343**	0.860**	0.781**	0.830**	0.675**	-0.221**	-0.375**	-0.701**
前 8 旬	0.687**	0.223**	0.268**	0.808**	0.769**	0.802**	0.670**	-0.152**	-0.249**	-0.736**
前 9 旬	0.630**	0.111*	0.173**	0.733**	0.738**	0.752**	0.663**	-0.071	-0.118*	-0.752**

注:**指通过 0.01 显著性检验,*为通过 0.05 显著性检验。 P 为 20~20 时降水量, R_{mean} 为平均相对湿度, R_{min} 为最小相对湿度, V 为平均水汽压, T_{mean} 为平均气温, T_{min} 为日最低气温, T_{max} 为日最高气温, S 为日照时数, W 为平均风速, P_v 为平均气压。

植被生长对气候因子的响应存在一定的滞后效应^[4,6],为分析这种滞后效应,本研究计算了滇东南喀斯特地区植被旬 NDVI 值与前 1—9 旬期气候因子的相关系数,相关系数最大值表明相关性最强(表 3)。其中,若相关系数最大值所对应的当前旬,表明无滞后,反之即表示为滞后,相关系数最大值对应旬即为滞后的旬数。从表 3 中可以看出,就水分类气候因子,对于 NDVI 而言,除了平均相对湿度滞后为 1 旬外,平均水汽压、最

小相对湿度和降水量的滞后期为 4 旬和 6 旬,即约有 2 个月左右的滞后期。对于温度类气候因子,最低气温滞后期为 6 旬,平均气温和最高气温滞后期均为 7 旬,即约有 3 个月左右的滞后期。就其他类型的气候因子而言,NDVI 对平均气压没有滞后期,而对平均风速和日照时数的滞后期的分别为 1 旬和 4 旬。

4.2 人类活动与植被 NDVI 变化

人类活动影响日益剧烈的今天,植被覆盖变化深

刻地记录了人类活动的烙印^[12]。人类活动对植被的影响分为正面效应(如退耕还林还草等生态工程)和负面效应(如城市扩展、人为森林破坏等),退耕还林还草工程对区域生态环境的恢复和改善起到了巨大作用^[13-14]。滇东南喀斯特地区于 2002 年全面启动实施国家退耕还林工程以来,工程建设进展顺利,取得了显著效益,为改善生态状况、调整产业结构、发

展农村经济和农民增收做出了突出贡献^[15]。由于这些工程的实施,使滇东南喀斯特地区总退耕还林面积达 622.70 km²,荒山荒地造林及封山育林面积分别达 1 466.07,340.02 km²(表 4),植被覆盖呈现逐渐上升的趋势,表明生态工程的实施有效改善了区域生态环境,极大地提升了滇东南喀斯特地区的植被整体覆盖程度。

表 4 滇东南喀斯特地区退耕还林现状 km²

州市	统计时段	退耕地还林	荒山荒地造林	封山育林	合计
文山州	2002—2010 年	254.68	541.36	126.67	254.68
红河州	2002—2012 年	368.02	924.71	213.34	368.02

另一方面,城市扩展往往导致城市周边植被遭到破坏,引起植被覆盖下降。如本区正在打造的“个开蒙”城市群,由个旧市、开远市、蒙自市 3 个相距半径不到 30 km 的市组成,自 2002 年以来至 2012 年,以老城区为核心并以年平均增长率 10%的速度迅速扩展,致使城市群范围内植被覆盖整体呈现出减少的趋势,这在文山市、弥勒县和泸西县等首府驻地也有所体现。此外,本区作为云南省的生态脆弱区,工程性缺水较为严重,“地下水滚滚流、地表水贵如油”是区内的真实写照,农业的发展尤其的灌溉农业的发展主要沿着河流走向,从而导致植被盖度降低还呈现出沿河流走向的特征,这在甸溪河注入南盘江的竹园镇一带最为突出。该镇气候为亚热带气候,年平均气温 19.4℃,无霜期 340 d,降雨量 953.7 mm,光热资源充足,土壤肥沃。1998 全镇蔬菜种植面积不足 10.1 km²,2002 年达到 14.02 km²,2008 年达 25.6 km²,2011 年更是高达 32.67 km²,是 1998 年的 3 倍以上,使该片区成为研究区植被覆盖减少最为突出的区域(附图 7)。

5 结 论

(1) 滇东南喀斯特地区年内植被 NDVI 旬值波动于 0.54~0.73,而年均植被 NDVI 波动于 0.55~0.60。2001—2010 年滇东南喀斯特地区植被 NDVI 整体呈现出上升的趋势,速率为 0.03/10 a。其中,植被覆盖呈增加和减少趋势的面积分别占总面积的 70.03%和 29.97%。此外,滇东南喀斯特地区植被 NDVI 减少最为突出的区域主要集中在城镇周围及河流沿线,增加的区域主要集中在高海拔山区。

(2) 气候影响因素中的水分类因素即平均相对湿度是对滇东南喀斯特地区植被 NDVI 年内变化主要的影响因素。植被 NDVI 对水分类因子中的降水量和最小相对湿度的滞后期为 2 个月左右,而平均相对湿度只有 1 旬即 10 d 左右的滞后期。温度类气候因子的滞后期均为 3 个月左右。对于其他类型的气

候因子而言,与植被覆盖之间呈现出负相关的关系。

(3) 滇东南喀斯特地区于 2002 年启动实施国家退耕还林工程,由于这些工程的实施,使该区总退耕还林面积达 622.70 km²,荒山荒地造林及封山育林面积分别达 1 466.07,340.02 km²,极大地提升了滇东南喀斯特地区的植被整体覆盖程度,使中高植被覆盖度和高植被覆盖度区面积增加。而城镇化过程及农业活动则使得城镇周边和河流沿线的植被覆盖呈现出降低的趋势。

参考文献:

[1] 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.

[2] 赵舒怡,宫兆宁,刘旭颖. 2001—2013 年华北地区植被覆盖度与干旱条件的相关分析[J]. 地理学报,2015,70(5):717-729.

[3] Nemani R, Keeling C D, Hashimoto H. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999 [J]. Science, 2003,300(5625):1560-1563.

[4] Melillo J M, McGuire A D, Kicklighter D W, et al. Global climate change and terrestrial net primary production[J]. Nature, 1993,363(6426):234-40.

[5] Myneni R B, Keeling C D, Tucker C J, et al. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. Nature, 1997,386(6626):698-702.

[6] 崔林丽,史军,杨引明,等. 中国东部植被 NDVI 对气温和降水的旬响应特征[J]. 地理学报,2009,64(7):850-860.

[7] 侯光雷,张洪岩,郭聃,等. 长白山区植被生长季 NDVI 时空变化及其对气候因子敏感性[J]. 地理科学进展, 2012,31(3):285-292.

[8] Holben B N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data [J]. International Journal of Remote Sensing, 1986,7(11):1417-1434.

[9] 朱求安,张万昌,赵登忠. 基于 PRISM 和泰森多边形的地形要素日降水量空间插值研究[J]. 地理科学,2005, 25(2):233-238.

大,对红枣的生长发育和产量形成有利。负积温减少能够降低枣树越冬冻害的几率,但也使枣树越冬期变短,枣园无效失墒增大加剧了干旱风险;各种病虫进入越冬阶段推迟,病虫基数增加,加剧红枣病虫害发生和流行,影响红枣的产量和品质。由此可见,热量资源变化对黄土高原丘陵红枣种植区的影响利弊皆有,仍存在诸多不确定因素。因此,应综合考虑光热水等气候资源变化趋势及共同影响,合理利用气候资源,调整品种和布局,促进红枣产业的健康发展。

参考文献:

- [1] 郑大玮,孙忠富.关于积温一词及其度量单位科学性问题的讨论[J].中国农业气象,2010,31(2):165-169.
- [2] 段若溪,姜会飞.农业气象学[M].北京:气象出版社,2002.
- [3] 古书鸿,严小冬,石艳,等.贵州省温度界限内积温特征分析[J].北京:中国农业气象,2011,32(4):521-524.
- [4] 屈振江.陕西农作物生育期热量资源对气候变化的响应研究[J].干旱区资源与环境,2010,24(1):75-79.
- [5] 殷雪莲,何金梅,郭萍萍.河西走廊中部 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 界限温度演变特征及其对玉米生产的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(6):236-243.
- [6] 马理辉,吴普特,汪有科.黄土丘陵半干旱区密植枣林随树龄变化的根系空间分布特征[J].植物生态学报,2012,36(4):292-301.
- [7] 李锐,刘国彬.改善生态与富民增收是黄土高原生态建设的中心[J].中国科学院院刊,2000,15(3):193-196.
- [8] 李振朝,韦志刚,文军,等.近50年黄土高原气候变化特征分析[J].干旱区资源与环境,2008,22(3):57-62.
- [9] 李志,赵西宁.1961—2009年黄土高原气象要素的时空变化分析[J].自然资源学报,2013,28(2):287-299.
- [10] 王毅荣.1961—2005年黄土高原地区积温演变[J].冰川冻土,2007,29(1):119-125.
- [11] 韩湘玲,孔扬庄.关于“界限温度”确定方法的讨论[J].中国农业气象,1984(3):55-57.
- [12] 王树廷.关于日平均气温稳定通过各级界限温度初终日期的统计方法[J].气象,1982(6):29-30.
- [13] 刘实,王勇,缪启龙,等.近50年东北地区热量资源变化特征[J].应用气象学报,2010,21(3):266-278.
- [14] 王健,吕新,王江丽,等.石河子市近57年积温变化趋势特征研究[J].干旱区资源与环境,2013,27(6):154-159.
- [15] 孙杨,张雪芹,郑度.气候变暖对西北干旱区农业气候资源的影响[J].自然资源学报,2010,25(7):1153-1162.
- [16] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,1999.
- [17] 蒲金涌,李晓薇,李蓉.天水市1961—2010年积温变化特征[J].干旱区资源与环境,2013,27(5):34-39.
- [18] 万明波,程智,王文.青藏铁路沿线气温和降水的小波分析[J].干旱气象,2006,24(4):35-39.
- [19] 缪启龙,丁园圆,王勇,等.气候变暖对中国热量资源分布的影响分析[J].自然资源学报,2009,24(5):934-944.
- [20] 刘淑梅,高浩,黎贞发.气候变暖对天津农作物种植结构的影响[J].中国农业气象,2009(S1):42-46.
- [21] 李瑞英,任崇勇,张翠翠,等.气候变化背景下鲁西南地区农业气候资源变化特征[J].干旱地区农业研究,2012,30(6):254-260.
- [22] 李新岗,黄建,高文海.我国制干枣优生区研究[J].果树学报,2005,22(6):620-625.
- [23] 高桂芹,齐作辉.冬季负积温变化特征及其对冬小麦的影响[J].气象科技,2007,35(3):404-406.
- [24] 杨小利,辛吉武.甘肃省冬季负积温资源的变化特征及预测[J].资源科学,2007,29(4):114-120.
- [25] 李菊香,郭洪杰,谷永利,等.冀南地区冬季负积温特征及趋势分析[J].安徽农业科学,2011,39(33):20855-20856.
- [26] 高庆九,张荣,管兆勇.近50a来华北地区负积温变化特征[J].大气科学学报,2012,35(4):448-457.

(上接第231页)

- [10] 甘春英,王兮之,李保生,等.连江流域近18年来植被覆盖度变化分析[J].地理科学,2011,31(8):1019-1024.
- [11] 杨胜天,周旭,刘晓燕,等.黄河中游多沙粗沙区(渭河段)土地利用对植被盖度的影响[J].地理学报,2014,69(1):31-41.
- [12] 刘宪锋,任志远,林志慧,等.2000—2011年三江源区植被覆盖时空变化特征[J].地理学报,2013,68(7):897-908.
- [13] 李双双,延军平,万佳.近10年陕甘宁黄土高原区植被覆盖时空变化特征[J].地理学报,2012,67(7):960-970.
- [14] 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.
- [15] 张博胜,姜锦云,杨子生.中国退耕还林工程驱动下的滇东南喀斯特山区近8年土地利用变化研究:以文山县为例[J].中国农学通报,2010,26(22):338-343.