

滇南地区植被景观时空异质性及其成因

郝成元^{1,*}, 吴绍洪², 王海江¹

(1. 河南理工大学测绘与国土信息工程学院, 河南焦作 454000; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 地理要素时空异质性是山地景观的突出特征之一, 其研究不仅使复杂地理格局和过程生动形象化, 而且促进地理学定量分析的发展。以 2001 年 EVI(增强植被指数)、日降水和日气温为基础数据, 利用 ARCGIS 栅格计算模块求得植被区域差异; 以雨量变化为依据量化出研究区 30 气象站点的雨季开始时间。结果显示: (1) 无量山-哀牢山组合地形以西地区相对于东部地区 EVI 数值大、随季节变化和缓; (2) 4 月底、5 月初, 东部地区植被盖度先呈现增大态势, 而随着时间的推移其增强幅度明显弱于西部地区; (3) 2001 年雨季开始的具体时间方面, 无量山-哀牢山组合地形以东地区相对于西部地区提前 2~3 候进入雨季。总之, 由于高大山地对水汽输送的阻隔与截留作用, 无量山-哀牢山组合地形成为研究区气候和植被时空分布格局差异的分界带。

关键词: 滇南地区; EVI; 时空异质性; 地形因子; 阻隔作用

文章编号: 1000-0933(2009)01-0223-08 中图分类号: Q143, Q149, Q948 文献标识码: A

Analysis on spatio-temporal heterogeneity of vegetation landscape and its cause in Southern Yunnan Province

HAO Cheng-Yuan^{1,*}, WU Shao-Hong², WANG Hai-Jiang¹

1 College of Surveying & Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China

2 Institute of Geographic Sciences and Natural Resource Research, CAS, Beijing 100101, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(1): 0223 ~ 0230.

Abstract: The geographical spatio-temporal heterogeneity is a conspicuous characteristic in mountainous region. Its research visualized the complicated geographical patterns and processes, and promoted quantitative analysis in geography. The vegetation regional difference is calculated by raster calculator bar in ARCGIS, with MODIS-EVI as vegetation index in this study. Rainy season starting of 2001 is quantified from their precipitation variations, including 30 data attracted from meteorological stations in southern Yunnan Province. The results show that: (1) the spatio-temporal difference of vegetation landscape is very remarkable, for EVI value shows higher averagely and variation slower down or up seasonally in the western of Wuliang Mt.-Ailao Mt. assemblage zone than in the eastern region; (2) there are serious differences in EVI value of different directions between these two regions at the end of April or early May. The vegetation coverage of the eastern region presents increase firstly in the middle of April of 2001, but with time going, its increase degree becomes weaker and weaker obviously than that in the western region; (3) the regional distinction is obvious in 2001 for the beginning time of rainy season is earlier with ten or fifteen days in the eastern region. In one word, the Wuliang Mt.-Ailao Mt. assemblage zone becomes a boundary zone in the climatic characters and vegetation patterns, as the result of the effect for the high mountains on barrier or interception of vapor transportation.

Key Words: Southern Yunnan Province; enhanced vegetation index; spatio-temporal heterogeneity; topographic factor; barrier function

基金项目: 河南理工大学博士基金资助项目(B2006-11); 国家重点基础研究发展计划(973 项目)资助项目(2003CB415101)

收稿日期: 2007-08-16; **修订日期:** 2008-03-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: haocy@hpu.edu.cn

生态系统的复杂性来源于空间和时间的异质性以及大量组分间非线性的相互作用^[1]。景观异质性指景观或系统属性的变异程度,是自然界最普遍的特征之一,指导和帮助人们理解生态学的复杂过程及其反馈机制,在许多生态学理论中起核心作用^[2];其产生机理也是景观生态学的主要课题之一^[3]。

植被异质性不仅主要体现在植被的空间结构变化上(空间异质性),同时也体现在植被及其组分在时间上的动态变化上(时间异质性);后者主要指植被随时间的推移所表现出来的不均匀性,在很大程度上等同于景观动态的内容,也一直是生态学关注的热点之一^[4],尤其是定量描述景观格局及其在时间上的变化是理解异质性景观格局动态与生态学过程及其相互作用的前提^[5]。因此,本项植被时空异质性研究从以下两个方面入手:典型点的 EVI 年内变化过程以及敏感时段(春夏之交)的 EVI 区域差异。

1 研究区及数据

1.1 研究区概况

研究区位于云南省南部,政区范围包括云南省 30 个县级行政区,介于 98°40′53″~106°11′33″E 和 22°26′34″~24°27′35″N 之间,总面积 101 900km²。研究区西部,隶属滇西南山地,纵向排列着老别山、邦马山、无量山、哀牢山等纵向高大山地。其中哀牢山是纵贯研究区中部的西北——东南向的巨大山脉,主峰超过 3100m,而且与西南季风气流几成正交;哀牢山以东则隔元江与滇东高原相邻,地势变化幅度相对较小,虽受到元江、南盘江及其支流的切割,但起伏相对和缓^[6]。研究区同时受两个热带海洋(孟加拉湾和南海)水汽源的共同影响,特别是西部位于青藏高原的东南侧,是西南夏季风进入中国的必经之地^[7]。气候上,研究区内有明显的干、雨季更替^[8]。冬半年(11 月至翌年 4 月份),受到西风南支及高原冬季风的影响,部分地区还受东亚冬季风影响,天气相对干冷,故称干季;夏半年(5 月至 10 月份),受西南夏季风和东南夏季风控制,天气相对湿热,又称雨季。

1.2 研究数据来源

本研究主要数据为植被参数 EVI。在测度植被覆盖的方法中,植被指数法易于操作,且不依赖于实测数据,因此在宏观植被生态学研究中的应用普遍^[9,10]。1999 年 12 月 18 日,美国 NASA 全球对地观测系统(EOS)发射的极地轨道环境遥感卫星(terra)上搭载的中分辨率成像光谱仪(MODIS)所合成的影像,具有新一代“图谱合一”以及高光谱、高时间分辨率的特征。其可以生成两种全球陆地植被指数:归一化植被指数 NDVI(normalized difference vegetation index)和增强型植被指数 EVI(enhanced vegetation index)。前者可以看作是 NOAA/AVHRR 数据序列的延续;后者则通过订正地表反射率增强了对高生物量区域的敏感性,通过叶冠背景信号的耦合和减少大气影响提高了植被监测精度,对植被冠层变化非常敏感,包括冠层 LAI、冠层类型和冠层结构等^[11]。计算公式为:

$$EVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + C_1\rho_{RED} - C_2\rho_{BLUE} + L} \quad (1)$$

式中, ρ_{NIR} 、 ρ_{RED} 和 ρ_{BLUE} 分别对应 MODIS 近红外 2 波段、红光 1 波段和蓝光 3 波段的光谱反射率, L 是背景调整项,参数 C_1 和 C_2 是大气拟合系数^[12]。相对于 NDVI, EVI 有许多理论改进^[13,14]。因此,本研究试用 MODIS-EVI(来源于 TERRA/MODIS 网站^①,空间分辨率为 1km,时间跨度为 2001 全年)作为植被指标来研究植被时空异质性。

由于 EVI 为 2001 年数据,因此日降水和气温数据也是采集 2001 年研究区 30 个气象台站日数据;多年平均气温和降水数据来自气象台站的统计数字;图 6 来源于 Daly 等基于中国及周边国家地区 2450 多个气象台站的观测数据,采用 PRISM 模型技术生成的 2.5′×2.5′长期(1961~1990 年)平均月降水数据^[15],而且被证明具有较高的可靠性:独立于全国气象台站网的 31 个云南水文定位研究站,多年平均月降水的平均相对误差率为 8.56%^[16],是现有气象站分布条件所能实现的山区降水空间模拟的较好结果。

① MODIS homepage. <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>

1.3 典型点的选取及数据处理

选择研究区西部的镇康(98°58'E,24°04'N)、沧源(99°16'E,23°09'N)和东部的建水(102°50'E,23°37'N)、蒙自(103°23'E,23°23'N)等4个气象站点作为典型样点,因为4气象站点分别归属研究区最主要两大流域:西部澜沧江流域和东部元江流域。4个台站纬度和海拔高度大体相同(仅有镇康县海拔较低约200m左右,如考虑气温垂直直减率平均为0.6℃/100m,其海拔订正到1300m,年均温也应接近沧源的17.4℃);但多年年均温、年降水量、潜在蒸散、年均风速以及EVI年均值却有较大差异,基本情况见表1。总体来说,西部澜沧江流域相对于东部元江流域:年均温较低、年降水量较大、年均风速较弱、植被盖度较高。

表1 西、东部典型气象台站基础数据对比(1961~1990年)
Table 1 Basic data comparisons between the western and eastern weather stations(1961~1990)

站名 Site	海拔 Altitude (m)	年均温 Annual temperature (℃)	年降水量 Annual precipitation (mm)	潜在蒸散 Potential evapotranspiration (mm)	年均风速 Annual wind speed (m/s)	EVI
镇康 Zhenkang	1008.4	18.8	1584.7	857.0	1.1	4573
沧源 Cangyuan	1278.3	17.4	1772.3	789.3	1.6	3974
建水 Jianshui	1308.8	18.5	794.2	841.4	2.8	2723
蒙自 Mengzi	1300.7	18.6	844.7	839.8	3.4	2829

EVI区域对比研究中,在数值获取上,首先应用专用数据处理软件Modistool3.0对MODIS遥感影像转换投影:阿勒珀斯等积圆锥投影(Albers Conical Equal Area,105°E(中央经线)、25°N(南标准纬线)、47°(北标准纬线),椭球体(Krasovsky)),配准误差(RMS)均小于1个像元;利用ARCGIS先对40个气象站样点做半径为3km的缓冲区,然后利用Arc模块对EVI作图像切割,最后利用Statistics模块统计出各个样点不同时期的EVI数据。

1.4 敏感时段的选取及数据处理

从研究区季风气候特征可以看出,处于冬夏季风转换的4、5月份或10、11月份EVI数值可能发生显著的区域差异,特别是4、5月份,因为10、11月份的植物生长多少受惠于夏季风控制期获得的充足水、热,因此水、热等气候因子不会成为他们正常生长的限制性因子。

2 结果与分析

2.1 典型点的EVI年内变化过程

MODIS-EVI数据是每16d一幅影像全年共23幅,分别标为1、17、33、...,如图幅标号为17,即为2001年第17至32日通过最大合成法计算出的数值,以下与此同。由图1的EVI在一年内变化总体趋势可以看出,东部的建水和蒙自EVI年内变化过程非常相似,显著增加的时间大约出现在5月底、6月初(图幅标号145),并在6月底、7月初(图幅标号177)迅速达到年内极大值;镇康和沧源EVI明显增大的时间大约在5月上、中旬(图幅标号为129),一年中EVI极大值则出现在7月底、8月初(图幅标号为209),数值变化和缓。即东、西气象站点EVI在年内季节性变化差异是明显的:就数值而言,EVI年均值西部显著大于东部,镇康和沧源的EVI年均值分别为3970和4573,而建水和蒙自的EVI年均值仅为2723和2804;就过程来看,东部地区EVI数值显著增大的时间虽然相对于西部地区较晚,但很快达到一年中的EVI极大值,仅需要1个月的时间;西部地区的EVI先于东部地区发生显著增大,但变化和缓,逐渐增大到年内极大值,约需2个月时间。

造成这种年内EVI变化过程的区域差异,与研究区内主要气象要素特征以及植被类型的空间差异分不开(图2和图3)。

无论降水还是气温变化过程(图2和3),东部的建水和蒙自是相似的,而西部的镇康和沧源又是类同的。2001年上述4个气象站降水年内变化(图2)显示,1~3月份的干季降水虽时有发生,但降水过程却是有明显区域差异的,东部的建水和蒙自先于西部的镇康和沧源达到年极大值,两者有一定的时间间隔(约2~3旬);

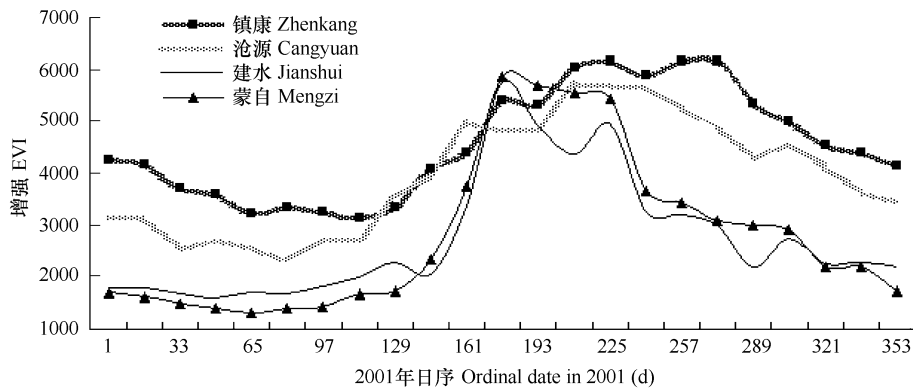


图1 2001年EVI数值年内变化

Fig. 1 Intra-annual EVI changes in 2001

建水和蒙自年内均有两次(4月中旬和12月上旬)比较大的增温,尤其是4月中旬的增温效果特别突出,这与南海季风以及干季受北方冷空气南下影响有直接关联,即东部地区气流复杂;镇康和沧源则年内气温变化一直处于和缓变动过程,这与西部年内影响气流比较单一有关:干季受南支西风槽气流影响,雨季受西南夏季风影响显著,但两者均来自低纬地区,性质大体类似,均有一定增温效果。

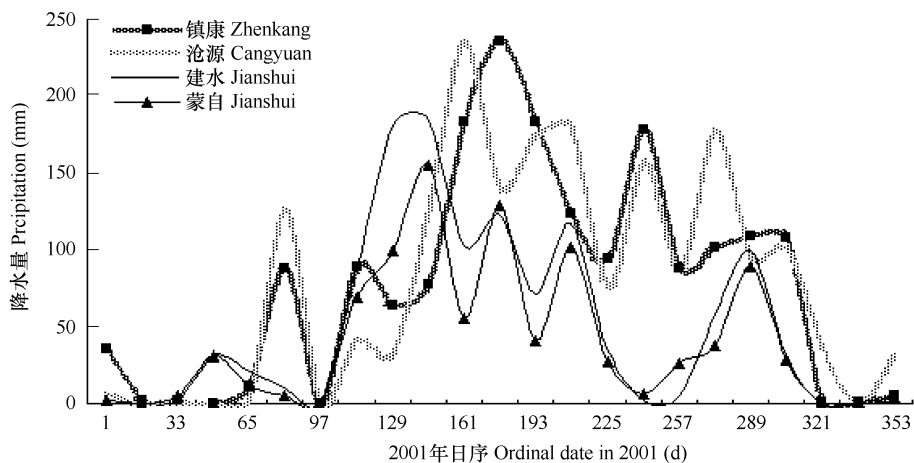


图2 2001年降水量年内变化

Fig. 2 Intra-annual precipitation changes in 2001

EVI 年内变化过程,不仅与上述气候因子的季节周期性变化有关联,而且与植被类型有关。植被类型是气候长期作用的结果,不同气候类型作用下的植被类型是不同的^[17,18],而 EVI 变化可以反映植被覆盖度的变动,同时段内的 EVI 变化趋势对比也可以间接地反映植被类型的差异。即如果短时间内的 EVI 发生显著变化,显然不是常绿阔叶林所为,而其覆被类型则可能是草丛或人工植被。实际情况是红河(元江)谷地以西地区的植被类型以森林为主,并兼有干热性和暖温性稀树灌木草丛分布;东部则以农作物、草丛为主,并混有灌丛和干热性及热性稀树灌木草丛分布,即土地利用上西部以林

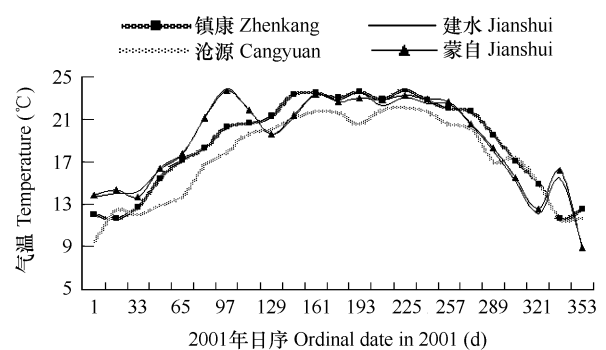


图3 2001年气温年内变化

Fig. 3 Intra-annual temperature changes in 2001

地为主而东部以草地和农用地为主^[6]。所以,热带、亚热带性质的研究区这种植被类型的区域差异引起西部 EVI 年内变化表现为数值较高、年内变动较小的特点,东部 EVI 则相反。

但它也只能解释西部区域 EVI 年内变化过程的和缓性以及东部区域 EVI 年内变化过程的剧烈性。所以,关于 EVI 年内变化过程区域差异的解释,应该是多种因素,包括降水、气温和太阳辐射等的气象气候要素、植被类型以及植物生长季节周期等多因子的综合而非单因子所决定。这一点也是有待进一步深入研究的内容之一。

2.2 敏感时段的 EVI 区域差异

通过初步对比 2001 年相邻时期影像的 EVI 变化量,清晰地看出在一年中有一时期 EVI 发生显著的空间区域差异,即 4 月中旬~5 月中旬,即图幅编号为 097、113、129。

图 4 内容来源于 EVI 标号为 113 和 097 的两幅影像,应用 ARCGIS 空间分析模块的栅格运算相减而来。时间上,图幅编号 097 的数据时间是 4 月上、中旬,而 113 的数据时间为 4 月底、5 月初。浅色区域表明两幅影像 EVI 之差为负,此时间段内植被状况变差;深色区域表明两幅影像 EVI 之差为正,此时间段内植被状况变好。由此可以看出,大致以无量山和哀牢山的组合地形为界,将研究区划分为两部分:界线以西地区 EVI 数值变化量小于 0,即植被覆盖度减小;界线以东地区 EVI 数值变化量为正,寓意植被覆盖度增大。伴随着时间的推移,研究区的主要影响气流——来自孟加拉湾的西南夏季风开始侵入研究区西南部,随即哀牢山和无量山以西地区, EVI 发生显著增加态势,增加幅度明显大于以东地区,如图 5。图 5 内容来源于 EVI 标号为 129 和 113 两幅影像的栅格减法计算。

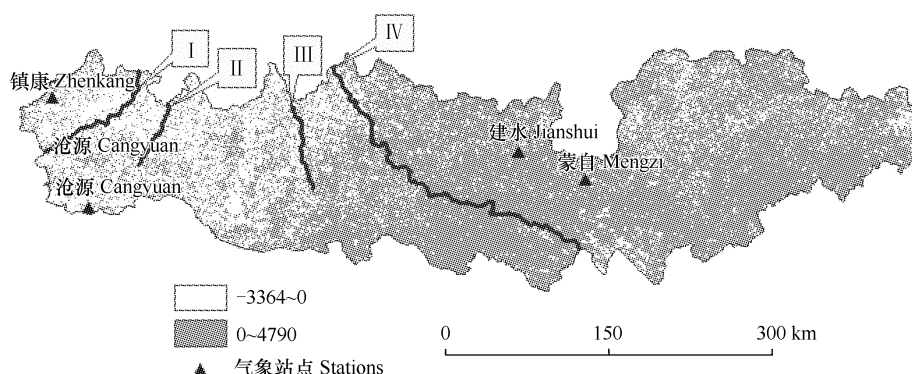


图 4 2001 年四月上旬至下旬的 EVI 变化量空间格局

Fig. 4 Spatial pattern of EVI changes from the first ten days of April to the last ten days of April in 2001

I 老别山; II 邦马山; III 无量山; IV 哀牢山 I Laobie Mt.; II Bangma Mt.; III Wuliang Mt.; IV Ailao Mt.

为说明 EVI 时间异质性,需要研究 2001 年研究区的雨季开始的具体时间。影响研究区降水过程的暖湿气流主要有两支,源地可推算到孟加拉湾,主要的一支由 15°N 以北经缅甸中部,由云南的西双版纳进入研究区并影响到我国整个西南地区,另一支在 15°N 以南,经中南半岛转向东北方通过南海西部、北部湾由广西西部进入研究区和我国西南地区。其中,前者是研究区主要水汽输送通道^[19]。

虽然普遍认为云南 5~10 月份为雨季,但干季转入雨季的时间,在不同地点或同一地点的不同年份存在差别,可在 4 月下旬、5 月上旬、中旬、下旬或 6 月上旬发生,从而形成雨季开始期的较大差别,进而造成不同地点的 EVI 年内变化过程迥异。对于雨季开始标准的研究很多,一般可以从农业生产、天气形势、季风环流变化来确定,但普遍公认还是以雨量变化为依据定出雨季开始的标准是最为适宜的^[20]。选择采用雨季开始期的标准如下:从 4 月 21 日开始到 6 月 30 日,自日雨量≥多年平均日雨量 3 倍之日起,以后连续 5、10d、一个月的降水相对系数 $C \geq 1$,则第 1 天作为雨季开始日^[20],此日所在的侯即为雨季开始候:

$$C_N = R_N \div [(\bar{R} \div 365) \times N] \quad (2)$$

式中, C_N 为 N 天的降水相对系数,可为候、旬、月, R_N 是 N 天的降雨量, $\bar{R}$ 为多年平均年雨量。

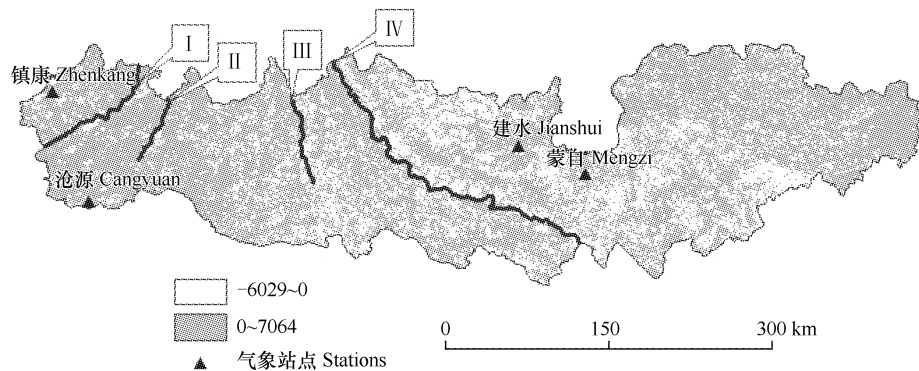


图5 2001年4月下旬至5月中旬的EVI变化量空间格局

Fig. 5 Spatial pattern of EVI changes from the third ten-day of April to the second ten-day of May in 2001

I 老别山; II 邦马山; III 无量山; IV 哀牢山 I Laobie Mt.; II Bangma Mt.; III Wuliang Mt.; IV Ailao Mt.

表2是采用公式(2)对研究区30个气象台站2001年雨季开始时间的计算结果,可以看出哀牢山是研究区雨季开始时间区域划分的分界线:哀牢山以东地区雨季开始时间较早,为4月5候;哀牢山以西地区雨季开始时间较晚,为5月2候。另有其它几个站点比较特殊,哀牢山以东地区最东部的富宁以及最北部的新平、内部的红河和广南,虽然在4月5候也降雨不少,但采用公式(2)计算结果显示5月2候、5月1候和4月6候才进入雨季;哀牢山以西地区的墨江、普洱和镇康也在5月1候稍微提前其它邻近地区进入雨季。纵观以上分析,全区雨季来临时间有一个自东向西和自南向北发展的趋势,这一结论与王裁云研究结果相同^[21]。这里所得出的2001年雨季开始时间较早于正常年份的5月中、下旬,也与郑建萌等的研究结论基本一致^[22]。

表2 研究区30个气象站点2001年雨季开始时间

Table 2 Exact time of rainy season beginning in 2001 of thirty weather stations

时间 Time	气象站点 Weather stations
4月5候 The fifth five-day of April	个旧 Gejiu、屏边 Pingbian、河口 Hekou、邱北 Qiubei、建水 Jianshui、石屏 Shiping、元江 Yuanjiang、蒙自 Mengzi、文山 Wenshan、西畴 Xichou、砚山 Yanshan、元阳 Yuanyang、绿春 Lvchun、金平 Jinping、麻栗坡 Malipo
4月6候 The sixth five-day of April	广南 Guangnan
5月1候 The first five-day of May	新平 Xinping、红河 Honghe、墨江 Mojiang、普洱 Pu'er、镇康 Zhenkang
5月2候 The second five-day of May	富宁 Funing、永德 Yongde、耿马 Gengma、临沧 Lincang、景谷 Jinggu、沧源 Cangyuan、双江 Shuangjiang、镇沅 Zhenyuan

由上可知,哀牢山以东地区雨季到达时间比西部地区早,这也就不难理解显著的雨季来临时间差是影响敏感时段内EVI鲜明地域差异的形成。

4月初,由于东南夏季风一支——南海季风首先从研究区南部进入哀牢山以东地区,并带来大量的水汽,从而在研究区东南一侧形成一定量的降水,数量达到60~80mm,局部地区可达150mm以上,而哀牢山和无量山南段以西、以北地区,降水总量则多在50mm以下(图6)。这种受大地形影响的降水空间格局进而造成EVI变化在空间上也得到显著体现,见图4。伴随着时间的推移,影响本研究区的另外一支气流——强大的来自热带海洋的、湿层深厚水汽充沛的、持续稳定的孟加拉湾西南夏季风气流自西南部开始侵入研究区,随即西部降水增加迅速,作为植被指标的EVI也发生一定程度的变异,表现在空间上即图5。由两图可明显看出,可大体以无量山和哀牢山为界,标示出EVI变异的空间区域差异:在4月中旬至下旬的递变中,EVI增加是自东而西进行;而在4月至5月中旬的递变中,EVI增加是自西而东进行的。这两者均以无量山和哀牢山的组合区域为界线,地理解释就是无量山和哀牢山组合区域对水汽的“阻隔”作用而形成。即研究区在2001年4月下旬受来自南海的东南湿润气流影响开始自东而西的进入雨季、EVI数值增大时,哀牢山地形的“阻隔”作

用使其以西地区受此影响微弱;随着时间的推移,当来自孟加拉湾更湿润深厚气流的侵入哀牢山以西地区、EVI 数值也增大时,同样由于哀牢山地形的“阻隔”作用也使其以东地区短时间内受孟加拉湾气流影响不明显。这样也就解释了哀牢山西、东地区 EVI 在 2001 年 4、5 月间所发生的数值变化有显著区域差异的现象。

总之,处于冬、夏季风转换期的 4、5 月份之所以形成鲜明的 EVI 变化量空间区域差异的主要因素就是研究区东部和西部地区存在着水汽来临相位差异的缘故,再加上哀牢山、无量山等大地形的“阻隔”作用而造成。

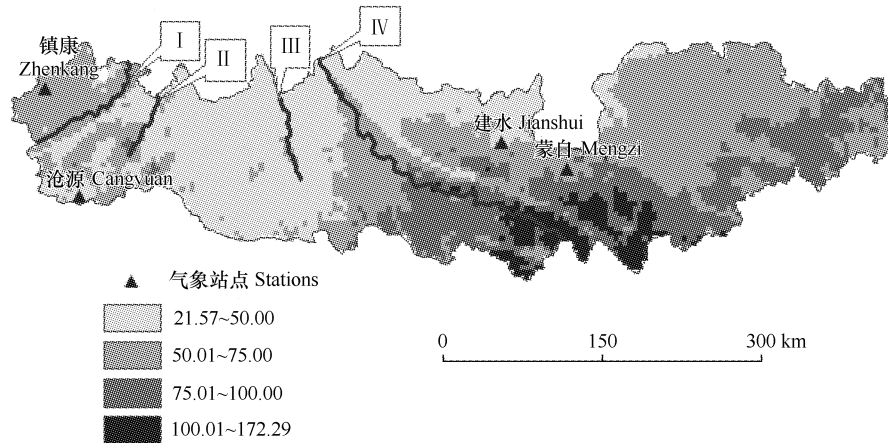


图 6 2001 年四月降水量空间格局

Fig. 6 Spatial pattern of precipitation in April in 2001

I 老别山; II 邦马山; III 无量山; IV 哀牢山 I Laobie Mt.; II Bangma Mt.; III Wuliang Mt.; IV Ailao Mt.

3 结论

(1) 研究区区域植被景观时空对比迥异。EVI 年均数值上,西部显著大于东部;EVI 数值变化过程上,东部显著增大的时间虽然相对于西部地区较晚,但很快达到年极大值,仅需 1 个月时间;而西部地区的 EVI 先于东部地区发生显著增大,但变化和缓,约需 2 个月时间才能达到年极大值。

(2) 研究区 2001 年进入雨季时间区域差异显著。无量山-哀牢山组合地形以东地区先进入雨季,多在 4 月 5 候;组合地形以西地区多在 5 月 2 候。

(3) 由于山地的阻隔作用,无量山和哀牢山组合地形成为气候因子和植被空间分布格局的分界线。4 月底、5 月初研究区形成鲜明的 EVI 变化量空间区域差异,其主要原因之一就是无量山和哀牢山组合地形对水汽运行方向的阻隔以及水汽量上的截留,进而造成植被的时空异质性。

References:

- [1] Wu J G. Landscape: pattern, process, scale and grade. Beijing: Higher Education Press, 2000. 74—94.
- [2] Levin S A. The problem of pattern and scale in ecology. Ecology, 1992, 73: 1943—1967.
- [3] Wiens J A, Crawford C S, Gosz J R. Boundary dynamics: a conceptual framework for studying landscape ecosystems. Oikos, 1985, 45: 421—427.
- [4] Wu Y G, Li H B. Development of landscape ecology theory. In: Liu Jianguo eds. Advance in modern ecology. Beijing: Chinese Science & Technology Press, 1992. 30—39.
- [5] Wu J, Jelinski D E, Luck M, et al. Multiscale analysis of landscape heterogeneity: Scale variance and pattern metrics. Geographic Information Systems, 2000, 6: 6—19.
- [6] Wang S Y. Geography of Yunnan. Kunming: Yunnan Nationality Press, 2002. 46—48.
- [7] Chen L X, Zhu Q G, Luo H B, et al. East-Asia monsoon. Beijing: China Meteorological Press, 1991. 49—60.
- [8] Qiang X M, Jv J H, Zhang H H. A diagnostic analysis of the summer monsoon in Yunnan. Journal of Yunnan University (Natural sciences), 1998, 20(1): 75—79.
- [9] Huang J X, Wu B F, Zeng Y, et al. Review of tree, shrub, grass cover of horizontal and vertical scale retrieval from remotely sensed data. Advance

- in Earth Sciences, 2005, 20(8): 871—881.
- [10] Zhang Y S, Yuan L F, Yao Y H. Study on extraction of paddy rice fields from multitemporal MODIS images. *Journal of Remote Sensing*, 2007, 11(2): 282—288.
- [11] Gao X, Huete A R, Ni W, *et al.* Optical biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. *Remote Sensing of Environment*, 2000, 74(2): 609—620.
- [12] Huete A, Justice C, Leeuwen W van. MODIS vegetation index (mod13), Version 3, Algorithm Theoretical Basis Document. 1999.
- [13] Wang Z X, Liu C, Huete A. From AVHRR-NDVI to MODIS-EVI: advances in vegetation index research. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(5): 979—987.
- [14] Cheng Q, Huang J F, Wang R C. Preliminary analysis of difference between MODIS and NOAA/AVHRR vegetation indices. *Bulletin of Science and Technology*, 2005, 21(2): 205—209.
- [15] Daly C, Gibson W P, Hannaway D, *et al.* Development of new climate and plant adaptation maps for China in Proc1, 12th Conf1 on Applied Climatology, 8211 May, Asheville, NC1: American Meteorological Society, 2000.
- [16] Hao C Y, Dai E F, Wu S H, *et al.* Research on Barrier function and temporal and spatial heterogeneity of vegetation in the southern of LRGR. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(z): 143—153.
- [17] Sun C Z, Huang B L, Chen H B, *et al.* Interaction between soil water conditions and different kinds of artificial plant cover in the Loess Plateau. *Journal of Beijing Forestry University*, 1998, 20(3): 7—14.
- [18] Wu N, Liu Z G. Prbing into the causes of geographical pattern of subalpine vegetation on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 1998, 4(3): 290—297.
- [19] Shen R G, Huang G S. The relationship between the monsoon circulation and the water vapour transfer in the rainfall period in south China during summer 1980. In: *Proceedings of the symposium on the summer monsoon (1981)*. Kunming: People's press of Yunnan Province, 1983. 116—127.
- [20] Qin J, Jv J H, Xie M E. Weather & climate over low latitude plateau. Beijing: China Meteorological Press, 1997. 45—46; 123—124.
- [21] Wang C Y. Influence of summer monsoon on the beginning of rainy season over south-western China. In: *Proceedings of the symposium on the summer monsoon (1981)*. Kunming: People's press of Yunnan Province, 1983. 189—197.
- [22] Zheng J M, Duan X. The Bengal Bay monsoon onset and its relationship with rainy season of Yunnan in 2001. *Meteorology Monthly*, 2005, 31(2): 59—63.

参考文献:

- [1] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2000. 74~94.
- [4] 伍业纲, 李哈滨. 景观生态学的理论发展. 见: 刘建国主编, 当代生态学博论. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 30~39.
- [6] 王声跃. 云南地理. 昆明: 云南民族出版社, 2002. 46~48.
- [7] 陈隆勋, 朱乾根, 罗会邦, 等. 东亚季风. 北京: 气象出版社, 1991. 49~60.
- [8] 强学民, 琚建华, 张浩瀚. 云南夏季风演变诊断分析. *云南大学学报(自然科学版)*, 1998, 20(1): 75~79.
- [9] 黄健熙, 吴炳方, 曾源, 等. 水平和垂直尺度乔、灌、草覆盖度遥感提取研究进展. *地球科学进展*, 2005, 20(8): 871~881.
- [10] 张友水, 原立峰, 姚永玟. 多时相 MODIS 影像水田信息提取研究. *遥感学报*, 2007, 11(2): 282~288.
- [13] 王正兴, 刘闯, Huete A. 植被指数研究进展: 从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI. *生态学报*, 2003, 23(5): 979~987.
- [14] 程乾, 黄敬峰, 王人潮. MODIS 和 NOAA/AVHRR 植被指数差异初步分析. *科技通报*, 2005, 21(2): 205~209.
- [17] 孙长忠, 黄宝龙, 陈海滨, 等. 黄土高原人工植被与其水分环境相互作用关系研究. *北京林业大学学报*, 1998, 20(3): 7~14.
- [18] 吴宁, 刘照光. 青藏高原东部亚高山森林草甸植被地理格局的成因探讨. *应用与环境生物学报*, 1998, 4(3): 290~297.
- [19] 沈如桂, 黄更生. 1980 年夏季热带季风环流与我国南方降水水汽输送的关系. 见: *全国热带夏季风会议文集(1981)*. 昆明: 云南人民出版社, 1983. 116~127.
- [20] 秦剑, 琚建华, 解明恩. 低纬高原天气气候. 北京: 气象出版社, 1997. 45~46; 123~124.
- [21] 王裁云. 影响云南 5 月雨季开始的天气原因分析. 见: *全国热带夏季风会议文集(1981)*. 昆明: 云南人民出版社, 1983. 189~197.
- [22] 郑建萌, 段旭. 2001 年云南雨季开始偏早与孟加拉湾季风爆发的关系. *气象*, 2005, 31(2): 59~63.