

哀牢山东、西两侧植被 *NDVI* 指数和植被类型 与主要环境因子的相关性分析

郝成元¹, 朱宗泽¹, 吴绍洪²

(1. 河南理工大学, 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: 以哀牢山南段为研究区域, 利用遥感植被信息、气候数据以及 *DEM* 基础资料, 对哀牢山东、西两侧植被的 *NDVI* 指数和不同植被类型与主要环境因子的相关性进行分析。研究表明, 哀牢山东、西两侧山地植被的 *NDVI* 指数与海拔的相关性最大, 与气温、降水量和太阳总辐射量也有一定的相关性, 与坡度和坡向的相关性最小。哀牢山东、西两侧的植被 *NDVI* 指数都与年均最低温和年均最高温呈负相关, 且东侧区域的相关性大于西侧, 表明极值气温对东侧区域的植被影响更大。在哀牢山东、西两侧研究区内共有 9 种植被类型, 以稀树灌木草丛为主要植被类型, 分别占各自区域面积的 40.59% 和 35.82%; 西侧森林植被中常绿部分所占比重高于东侧。相对于东侧区域, 哀牢山西侧区域的海拔偏高、气温偏低、降水量较多、太阳总辐射量较大、植被覆盖度较高。总之, 基于地形对水热因子空间再分配的影响作用, 哀牢山山脉两侧的气候和植被特征具有较大差异。

关键词: 哀牢山; 植被; *NDVI* 指数; 气候因子; 相关性分析

中图分类号: Q948.11 文献标志码: A 文章编号: 1004-0978(2009)02-0068-05

Correlation analysis of vegetation *NDVI* and type of vegetation with main environmental factors on eastern and western sides of Ailao Mountain

HAO Cheng-yuan¹, ZHU Zong-ze¹, WU Shao-hong² (1. He'nan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resource Research, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2009, 18(2): 68-72

Abstract: The correlations of *NDVI* and type of vegetation with main environmental factors on eastern and western sides of southern Ailao Mountain were analyzed by means of remote sensing information, climatic data and *DEM* basic data. The results show that on both sides, the correlation between *NDVI* and altitude is the highest, there are also some certain correlations between *NDVI* with air temperature, precipitation or total solar radiation, and the correlations of *NDVI* with slope and aspect are the lowest. *NDVI* has a negative correlation with annual mean minimum/maximum temperature on both sides of the mountain, and the coefficient on the eastern side is higher than that on the western side, indicating that extreme temperature has a bigger influence on vegetation on the eastern side. There are nine types of vegetation in the study areas on eastern and western sides of the mountain, mainly savanna which covers 40.59% and 35.82% of the two areas. Evergreen component of vegetation on the western side accounts for more percentage than that on the eastern side. The western side of Ailao Mountain has higher altitude, lower air temperature, more precipitation and more total solar radiation than eastern side, which make the higher vegetation coverage on the western side. It is suggested that because of the effect of topography on redistribution of water and heat, there are different characteristics in climate and vegetation on both sides of Ailao Mountain.

Key words: Ailao Mountain; vegetation; *NDVI*; climatic factor; correlation analysis

植被是一定自然环境条件下覆盖地表的植物群落的总体,植被与自然环境组成要素间的关系十分密切,能够综合反映自然环境的特点^[1]。由于植被对其生存环境的变化较敏感,能比较迅速而明显地反映出自然环境的变化和人类活动对自然环境的影响,因此植被也是显示自然环境特点的良好标志^[2]。分析植被与其环境因子间的相互关系,做出地学(地形或气候)解释,不仅具有重要的理论和实际意义,而且是植被生态学研究的主要任务之一^[3]。

地势宏大的山区地形不仅是植物生长的基础,也是山地气候形成的动力因素^[4],不但表现在对气流和水汽的动力和热力作用上,而且还表现在受水、热组合影响的局域范围内植被的排布方式及独特小生境上。在由陡峭地形及丰富降水形成的强度侵蚀山地或丘陵区,地表的侵蚀过程对森林植被格局和动态产生的影响可能是决定植被特征的关键因子^[5]。此外,地形还可能通过形态(如起伏等)的变化控制光、热、水和土壤养分等资源的空间再分配,从而影响植物的生长并决定植被的结构^[6-7]。因此,植被格局与地形密切相关,尤其在同一气候区,地形是影响植被格局的最重要因子之一。

本文以哀牢山南段为研究区,利用遥感植被信息、气候数据及 *DEM* 基础资料,从数理统计角度分析植被与地形和气候因子的相关性,重点阐述地形对气候和植被的影响,以揭示它们之间的相互作用并为植被的定量化研究提供新的认识途径。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

哀牢山是云岭山脉南支的余脉,呈北西—南东走向。它不仅是我国云贵高原、横断山地和青藏高原的结合部,也是滇中高原与横断山系南段帚状山脉的分界线和云南高原东西地貌的分界线。山峰海拔一般在 2 000 m 以上,最高峰位于云南省新平县和镇沅县交界处的大雪锅山,海拔 3 166 m。本研究区域主要是大雪锅山以南的哀牢山南段。

1.2 研究方法

采用 ArcGIS 9.2 的空间分析模块将面上数据转化为点数据,再运用 SPSS 11.5 软件进行相关数理分析,主要数据来源如下:

1) 归一化植被指数 (Normalization difference

vegetation index, *NDVI*): 基于陆地卫星 Landsat - 5 TM 影像计算得出 *NDVI*, 空间分辨率 30 m。数据时间段为 2001 年 10 月份,以避开云雨等气候条件对遥感数据的不利影响。

2) 植被类型: 基于 *MODIS* (Moderate resolution imaging spectroradiometer) 数据获得植被类型数据(包括各类型植被的面积百分比), *MODIS* 数据来源于 <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/> 网站,空间分辨率为 250 m。数据时间段为 2001 年,与 *NDVI* 数据的时间对应。

3) 地形数据: 基于研究区 1: 50 000 比例尺的数字高程数据 *DEM* 数据获得,分辨率为 25 m。

4) 气温和降水: 气候数据是美国俄勒冈州立大学空间气候研究中心 Daly 博士基于中国及周边国家地区 2 450 多个气象台站的观测数据,采用 PRISM (Parameter elevation regressions on independent slopes model) 模型技术生成的我国多年(1961 年至 1990 年)平均高温、平均低温和平均降水量数据^[8],空间分辨率为 4 500 m。

5) 太阳总辐射量: 结合太阳总辐射量的 2 种主要气候学计算模型 (Angstrom 模型和 Bristow - Campbell 模型),以 *DEM* 数据、月均温差和月平均日照百分率为基础数据,实现太阳总辐射量的空间化^[9],空间分辨率为 25 m。

1.3 数据处理

数据处理步骤如下: 首先,基于 Landsat - 5 TM 的影像,应用 ArcGIS 9.2 软件中的栅格计算工具条 (Raster calculator) 计算 *NDVI*, 公式为: $NDVI = [(TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)] \times 250 + 38$ ^[10], 式中, *TM4* 和 *TM3* 分别为 *TM* 影像的红外波段和可见光波段值; 第二,以大雪锅山以南的哀牢山山脊线为中心,应用 ArcGIS 9.2 空间分析工具划定 20 km 缓冲区 (Buffer), 作为具体研究范围; 第三,在 ArcGIS 9.2 中,用缓冲区 (Coverage 格式) 切割 *NDVI* 数据,并把切割后的栅格数据转化为点矢量数据; 第四,基于 *DEM* 数据,应用 ArcGIS 9.2 的空间分析模块 (Spatial analysis) 获取 GRID 格式的坡度和坡向数据,坡向从正北 (0°) 顺时针 360° 分布; 第五,把各种栅格数据重采样 (Resample), 包括基于 *MODIS* 数据源的植被类型,基于 *DEM* 的坡度、坡向和海拔数据,基于 PRISM 模型的年均降水量、年均最低温、年均最高温以及太阳总辐射量等,栅格大小为 30 m; 第六,

以缓冲区为范围提取各种数据源的点矢量数据;最后,利用 SPSS 11.5 软件对点矢量数据进行典范相关分析。

2 结果和分析

2.1 NDVI 指数与主要环境因子的相关性分析

利用 SPSS 11.5 软件对哀牢山东、西两侧植被的 NDVI 指数及主要环境因子数据进行典范相关分析,结果见表 1 和表 2。

对表 1 和表 2 的数据进行对比分析,结果表明:

1) 无论在哀牢山的东侧还是西侧,植被的 NDVI 指数与海拔、年均最高温、年均最低温、年均降水量和年均太阳总辐射量等因素的相关系数均相对较高,尤其是与海拔的相关系数最高,均大于 0.5,但与坡度和坡向的相关系数则较小,绝对值均不到 0.1;除年

均太阳总辐射量外,坡度和坡向与其他环境因子的相关性也均较小,因此,在进行植被类型与环境因子相关性分析时可将坡度和坡向排除。2) 无论在哀牢山的东侧还是西侧,都表现出年均最低温和最高温与植被 NDVI 指数呈负相关,且东侧区域的相关系数大于西侧,表明极值气温对哀牢山东侧区域的植被覆盖度或植被生物量影响更大,这一特点与哀牢山东侧区域较西侧更易出现低温的状况相符^[11]。3) 从哀牢山东、西两侧的水、热因子相关性上看,西侧区域年均降水量与太阳总辐射量的相关系数略高于东侧,分别为 0.366 和 0.351,这也是造成哀牢山东、西侧植被类型差异的原因之一。

2.2 植被类型与主要环境因子的关系

常用的植被分类主要是基于群落综合特征,即根据群落的生态外貌、区系组成和生境特征进行的群落划分^[12],能全面细致地反映植被的分布特征,

表 1 哀牢山西侧植被 NDVI 指数与主要环境因子的相关系数矩阵¹⁾

Table 1 Correlation coefficient matrix of NDVI and main environmental factors on the western side of Ailao Mountain¹⁾

因子 Factor	相关系数 Correlation coefficient							
	NDVI	AL	AS	SL	P	Tmin	Tmax	SR
NDVI	1.000							
AL	0.531	1.000						
AS	-0.052	0.018	1.000					
SL	0.023	-0.049	0.016	1.000				
P	0.296	0.379	-0.032	0.021	1.000			
Tmin	-0.329	-0.767	-0.061	0.113	-0.167	1.000		
Tmax	-0.357	-0.756	-0.025	-0.012	-0.545	0.841	1.000	
SR	0.261	0.419	-0.027	0.285	0.366	-0.223	-0.438	1.000

¹⁾ NDVI: 归一化植被指数 Normalization difference vegetation index; AL: 海拔 Altitude; AS: 坡向 Aspect; SL: 坡度 Slope; P: 年均降水量 Annual mean precipitation; Tmin: 年均最低温 Annual mean minimum temperature; Tmax: 年均最高温 Annual mean maximum temperature; SR: 年均太阳总辐射量 Annual mean total solar radiation.

表 2 哀牢山东侧植被 NDVI 指数与主要环境因子的相关系数矩阵¹⁾

Table 2 Correlation coefficient matrix of NDVI and main environmental factors on the eastern side of Ailao Mountain¹⁾

因子 Factor	相关系数 Correlation coefficient							
	NDVI	AL	AS	SL	P	Tmin	Tmax	SR
NDVI	1.000							
AL	0.584	1.000						
AS	-0.078	0.001	1.000					
SL	0.044	-0.030	0.021	1.000				
P	0.370	0.609	-0.043	-0.044	1.000			
Tmin	-0.495	-0.880	-0.013	0.046	-0.562	1.000		
Tmax	-0.476	-0.872	-0.013	0.042	-0.742	0.947	1.000	
SR	0.290	0.449	-0.088	0.211	0.351	-0.389	-0.428	1.000

¹⁾ NDVI: 归一化植被指数 Normalization difference vegetation index; AL: 海拔 Altitude; AS: 坡向 Aspect; SL: 坡度 Slope; P: 年均降水量 Annual mean precipitation; Tmin: 年均最低温 Annual mean minimum temperature; Tmax: 年均最高温 Annual mean maximum temperature; SR: 年均太阳总辐射量 Annual mean total solar radiation.

但进行植被普查要耗费大量的人力和物力,也很难在大尺度上及时迅速地对植被分布进行监测。遥感(RS)和地理信息系统(GIS)技术的发展,为在大尺度上进行及时的土地覆被监测提供了可能。由于土地覆被类型的空间分布及其动态变化在地球系统生物、物理和化学循环过程中具有重要作用^[13],且土地覆被标准将森林系统进一步划分为针叶林、阔叶林和针阔叶混交林,便于研究植被生态过程,因此,在研究植被的生态功能时,选用土地覆被分类系统较适宜。

调查统计结果显示,在哀牢山东、西两侧研究区内有9种植被类型,包括常绿针叶林、常绿阔叶林、落叶阔叶林、针阔叶混交林、灌丛、稀树灌木草丛、草丛、农田及其他一些生境类型(城镇、沼泽地、裸地及水体等),这9种植被类型区域内一些环境因子的统计数据见表3。

由表3可知,哀牢山西侧的9种植被类型区域

的海拔、年均降水量和NDVI均大于东侧,仅落叶阔叶林和针阔叶混交林中的年均太阳总辐射量稍低于东侧(西侧分别为5 864.8和5 928.4 MJ·m⁻²,东侧分别为5 897.6和5 952.3 MJ·m⁻²),而所有植被类型区域的年均最低温和最高温几乎都低于东侧。相对于东侧区域而言,哀牢山西侧区域的海拔偏高、气温偏低、降水量较多、太阳总辐射量较大、植被覆盖度较高。

由表3还可以看出,哀牢山东、西两侧都以稀树灌木草丛为主要植被类型,分别占西侧和东侧区域面积的40.59%和35.82%。虽然东、西两侧森林植被的面积百分比基本相等(西侧为50.90%,东侧为52.67%),但两侧森林植被中常绿部分所占比重有明显差异,西侧为24.25%、东侧为16.42%。从这些统计数据可以看出,哀牢山东、西两侧区域环境特征的差异较大,由此所形成的植被也存在分异。

表3 哀牢山西侧和东侧不同植被类型区域的主要环境因子概况

Table 3 The status of main environmental factors in regions of different vegetation types on western and eastern sides of Ailao Mountain

植被类型 Vegetation type	面积百分 比/% Percent of area	NDVI ¹⁾	海拔/m Altitude	不同气候因子的年均值 Annual mean of different climatic factors			
				降水量/mm Precipitation	最低 温度/℃ Minimum temperature	最高 温度/℃ Maximum temperature	太阳总辐射 量/MJ·m ⁻² Total solar radiation
西侧 Western side							
常绿针叶林 Evergreen needle-leaved forest	0.47	185.6	2 262.5	2 106.7	11.0	19.9	5 988.6
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	23.78	152.4	1 750.0	1 682.0	12.3	21.6	5 928.1
落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest	7.45	138.4	1 545.0	1 503.4	12.7	22.4	5 864.8
针阔叶混交林 Needle broad-leaved mixed forest	19.20	151.6	1 815.0	1 593.7	12.1	21.6	5 928.4
稀树灌木草丛 Savanna	40.59	133.4	1 475.5	1 533.6	12.8	22.3	5 871.0
灌丛 Shrub	3.40	139.6	1 689.2	1 553.7	12.1	21.7	5 887.3
草丛 Herbosa	2.53	130.9	1 502.8	1 555.8	12.9	22.3	5 886.7
农用地 Farmland	2.42	133.9	1 483.8	1 651.1	13.1	22.2	5 904.6
其他生境 Other habitats	0.17	137.3	1 588.9	1 393.7	12.5	22.7	5 836.2
均值 Average	-	144.8	1 679.2	1 619.3	12.4	21.9	5 899.5
东侧 Eastern side							
常绿针叶林 Evergreen needle-leaved forest	0.48	165.7	2 036.8	1 711.0	11.2	20.5	5 964.1
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	15.94	148.5	1 677.6	1 462.4	12.5	22.0	5 919.2
落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest	7.54	136.3	1 454.7	1 364.9	13.5	23.1	5 897.6
针阔叶混交林 Needle broad-leaved mixed forest	28.71	148.8	1 776.4	1 554.2	12.4	21.6	5 952.3
稀树灌木草丛 Savanna	35.82	127.7	1 226.5	1 318.5	14.2	23.7	5 861.2
灌丛 Shrub	3.36	135.2	1 456.9	1 336.6	13.3	22.9	5 884.5
草丛 Herbosa	3.81	125.5	1 134.0	1 316.9	14.7	24.0	5 873.9
农用地 Farmland	4.20	125.2	1 158.2	1 333.4	14.6	23.9	5 883.9
其他生境 Other habitats	0.15	125.9	1 073.7	1 089.1	14.7	24.9	5 822.0
均值 Average	-	137.6	1 443.9	1 387.4	13.5	23.0	5 895.4

¹⁾ NDVI: 归一化植被指数 Normalization difference vegetation index.

3 结论和讨论

在哀牢山东、西两侧的主要环境因子中,年均降水量和年均太阳总辐射量均表现为西侧大于东侧,西侧区域的年均降水量比东侧区域高出 231.9 mm。可见,相对于东侧区域而言,哀牢山西侧区域的水、热充足,组合良好,因而发育的常绿针叶林和常绿阔叶林较多;而东侧区域的水、热条件较差,故发育的针阔叶混交林和落叶阔叶林较多。总之,哀牢山巨大山体是造成其两侧区域环境因子显著差异和植被分异的主要原因^[14]。

通过比较和分析,主要得出以下结论:①哀牢山东、西两侧区域的植被 *NDVI* 指数与海拔、年均最高温、年均最低温、年均降水量和年均太阳总辐射量等环境要素的相关系数较高,但与坡度和坡向等地形因子的相关性较差。②相对于西侧区域而言,哀牢山东侧区域的年均最高温和最低温均与植被 *NDVI* 指数有较大的相关性,表明极值气温对东侧区域的植被生长影响更大。③相对于东侧区域而言,哀牢山西侧区域的海拔偏高、气温偏低、降水量偏大、太阳总辐射量较多,致使植被 *NDVI* 指数较高、森林常绿成分比重较大。④作为自然地理格局的分界线,哀牢山的巨大山体对水、热因子的空间再分配有较大影响,使得山地东、西两侧区域气候及地形特征差异显著,这是造成植被分异的主要原因。

在本研究过程中,数据不匹配是一个关键的限制因素,如气温和降水的空间分辨率为 4 500 m,植被类型和 *NDVI* 数据的空间分辨率则分别为 250 和 30 m,而 *DEM*、太阳总辐射量的空间分辨率则为 25 m。虽然通过研究得出上述几点令人信服的结论,但数据间的不匹配性可能使研究结论的科学性遭到某种程度的质疑,这也为下一步研究工作提出了改进方向。

致谢: 中国科学院地理科学与资源研究所朱华忠博士无偿提供了基于 PRISM 模型的气候数据,谨此致谢!

参考文献:

- [1] 张文辉,卢涛,马克明,等. 岷江上游干旱河谷植物群落分布的环境与空间因素分析[J]. 生态学报, 2004, 24(3): 552-559.
- [2] 陈鹏,初雨,顾峰雪,等. 绿洲-荒漠过渡带景观的植被与土壤特征要素的空间异质性分析[J]. 应用生态学报, 2003, 14(6): 904-908.
- [3] Xu X L, Ma K M, Fu B J, et al. Relationships between vegetation and soil and topography in a dry warm river valley, SW China [J]. *Catena*, 2008, 75(2): 138-145.
- [4] 崔海亭,刘鸿雁,戴君虎,等. 山地生态学与高山林线研究[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 41-46.
- [5] 朱源,康慕谊,刘全儒,等. 贺兰山油松和青海云杉交错区的物种丰富度研究[J]. 植物资源与环境学报, 2007, 16(3): 1-6.
- [6] 沈泽昊. 山地森林样带植被-环境关系的多尺度研究[J]. 生态学报, 2002, 22(4): 461-470.
- [7] Nagamatsu D, Yoshihiko H, Mochida Y. Influence of microlandforms on forest structure, tree death and recruitment in a Japanese temperate mixed forest [J]. *Ecological Research*, 2003, 18(5): 533-547.
- [8] Daly C, Gibson W P, Hannaway D, et al. Development of new climate and plant adaptation maps for China [C] // *Proceeding of 12th Conference on Applied Climatology*. Asheville: American Meteorological Society, 2000: 62-65.
- [9] 郝成元. 纵向岭谷区南部“阻隔”作用及植被生态效应研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2006: 43-45.
- [10] 龚建周,夏北成. 基于遥感影像的广州市植被覆盖度内部结构与时空变化[J]. 植物资源与环境学报, 2006, 15(4): 25-29.
- [11] 张克映,马友鑫,李佑荣,等. 哀牢山过山气流的气候效应[J]. 地理研究, 1992, 11(3): 65-70.
- [12] 朱华. 论滇南西双版纳的森林植被分类[J]. 云南植物研究, 2007, 29(4): 377-387.
- [13] Sellers P J, Los S O, Tucker C J, et al. A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs. Part II: the generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from satellite data [J]. *Journal of Climate*, 1996, 9(4): 706-737.
- [14] 郝成元,吴绍洪,李双成. 基于SOFM的区域界线划分方法[J]. 地理科学进展, 2008, 27(5): 121-127.