

岭谷组合地形的植被空间变异性对比及成因

郝成元¹, 张永领¹, 吴绍洪²

(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:滇西南山地纵向排列着老别山、邦马山、无量山、哀牢山, 其对气候因子及植被生态的影响一直是我国山地生态学的主要研究内容之一。采用 Moran 系数 (MO) 度量了植被主要气候因子的空间自相关程度, 通过构建半变异函数研究了 EV 各向异性及其气候因子的空间变异特征。结果显示: 4 山地气候因子的空间分异特征与地形走向吻合, 表现出南—北方向的自相关程度较大, 东—西方向自相关程度最小, 表明山地延伸方向上“通道”作用明显而山地排列方向上“阻隔”作用显著; 哀牢山和老别山的“阻隔”作用较大, 景观异质性复杂, 邦马山和无量山的“阻隔”作用较小, 景观变化方向性不鲜明。总之, 各纵向山地的“通道—阻隔”作用与各山地走向、规模大小密切相关。

关键词: 岭谷组合地形; 增强型植被指数; 空间变异; 各向异性; 通道—阻隔作用

中图分类号: Q948.2 X144

文献标识码: A

空间异质性是生态学尤其是景观生态学的一个重要概念, 是生物系统的主要属性之一, 也是生态学研究不同尺度的系统功能和过程中最感兴趣的问题之一, 并在生物系统的多样性和动态方面起着重要作用^[1,2]。尽管空间异质性的普遍性已被清楚地认识, 但其在不同生态系统中的机制、尺度、程度、规律等所知甚少, 很有必要考察不同生态系统或系统属性在空间上的复杂性和变异性^[3]。其中复杂性涉及到系统属性的定性或类型描述, 而变异性要考虑到系统属性的定量或数量描述。但在大多数情况下, 对空间变异尺度的理解只是停留在定性的水平上, 还不能适用于对格局的概括, 更重要的是还不能适用于对格局的成因与效应的概括^[4]。

空间异质性定量分析可从两个方面考虑: 一个是空间特征; 另一个是空间比较。无论前者还是后者都可以采用统计学方法来达到空间变异的属性量化, 进一步探测空间格局、分析不同尺度上的空间变异程度及变化等, 尤其是对空间数据 (诸如 poly-

gons 和 grids 数据), 已有诸多成果, 被证明为研究空间分异和空间格局的有效方法^[5-9]。定量描述景观格局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, 只有格局被弄清楚, 才可能去发现格局的形成因素, 以及形成和维持格局的机制^[7]。因此, 本研究力求在复杂地形研究区——云南岭谷组合地形区, 通过地统计学中的空间自相关程度、空间变异特征以及空间变异的各向异性等 3 个主要表征指标, 对增强型植被指数 (Enhanced Vegetation Index 简称 EVI) 及其主要影响因素的空间格局特征及其内部不同山地的空间对比两个角度来揭示植被空间异质性特征及其成因。

1 研究区域、研究数据及研究方法

1.1 研究区概况

纵向岭谷区 (Longitudinal Range-Gorge Region, LRGR) 位于我国西南, 包括与青藏高原隆升直接相

收稿日期 (Received date): 2008-06-10; 改回日期 (Accepted): 2008-10-21.

基金项目 (Foundation item): 河南理工大学博士基金 (B2006-11); 国家重点基础研究发展计划 (973 项目) (2003CB415101); [Doctor Foundation of Henan Polytechnic University (B2006-11); National Natural Science Foundation of China (Grant No. 2003CB415101).]

作者简介 (Biography): 郝成元, 男, 1969 年出生, 博士, 副教授, 主要从事自然地理综合研究。[Hao Chengyuan (1969-), male, Caoxian County in Shandong province, PH.D., associate professor specialized in integrated research of physical geography.] E-mail: haocx@hpu.edu.cn

关联的横断山区及毗邻的南北走向的山系河谷区, 是元江—红河—澜沧江—湄公河、怒江—萨尔温江和伊洛瓦底江 4 条国际大河的上游, 也是我国西南与东南亚极为重要的生态廊道。因大气环流、青藏高原对季风的阻挡、人为作用等因素的影响, 纵向岭谷区生态系统格局复杂^[8]。

本研究主体是位于哀牢山以西的滇西南山地的一部分, 是由一组近似南北向分布、东西向排列的岭(谷)所组成, 自西而东依次排列为: 老别山(南定河)、邦马山(澜沧江)、无量山(把边江—阿墨江)、哀牢山(元江)。4 岭(谷)组合的地形单元起伏度都在 1 200 m 以上, 为极大起伏度山地; 所有山脉海

拔都在 2 000 ~ 4 000 m 之间, 称为高中海拔山地^[9]。因此, 本研究地形特指一组具有极大起伏度的高中海拔山地组合, 以区别于其他众多的研究(图 1)。其中, 哀牢山属于云岭南支的余脉, 是我国云贵高原、横断山地和青藏高原三大自然地理区域的结合部, 呈西北—东南之走向。研究区内的哀牢山海拔一般在 2 000 m 以上, 山峦重叠, 气势巍峨, 好像一道巨大的天然屏障, 耸立在元江与阿墨江之间, 最高峰大雪锅山海拔 3 166 m。它不仅是滇中高原与横断山系南段帚状山脉的分界线, 也是云南高原东西地貌的分界线^[10]。

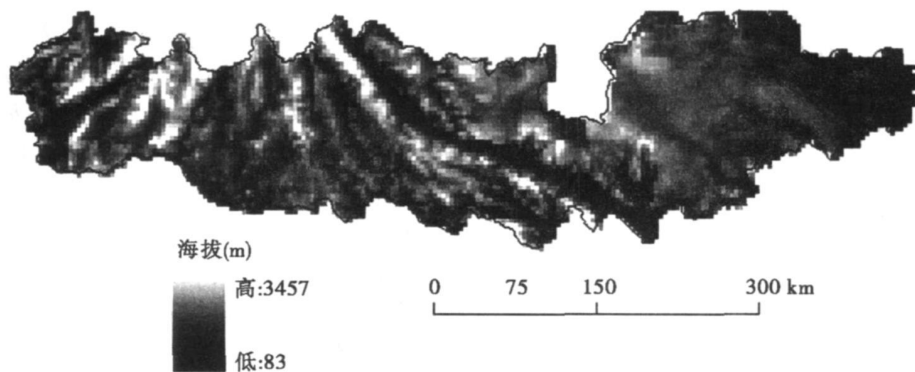


图 1 研究区纵向岭、谷分布图

Fig 1 Location of the main longitudinal ranges and gorges in study area

高差悬殊的南北向高山峡谷组合地形势必造成区域河流水文、土壤类型、植被景观多种多样, 再加上频繁的低纬暖湿气流的有效配合^[11], 最终使得研究区局地小生境复杂多样、植被景观空间异质性显著。

主要数据获取

植被—气候关系是植物学、生态学、地理学及气候学研究的古老问题^[12]。植物生态学研究表明, 决定植被覆盖变化的气候因子主要是辐射、温度和水分, 以及它们的配合状况^[13-14]; 而地形条件则是在同一气候区通过改变光、热、水等自然条件的分配间接地作用于植被^[15]。因此本研究以 EVI 和气温(极端低温和极端高温)、降水量、太阳总辐射分别作为植被和气候因子的量化指标。

1.2.1 基于 MODIS 的增强植被指数 EVI

根据监测手段, 测度植被覆盖的方法可分为地面实测和遥感反演两大类^[16]; 研究结果表明, 遥感反演中的植被指数法易于操作, 且不依赖于实测数

据, 在宏观植被生态学研究中的应用普遍^[17-18]。1999—12—18 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。MODIS 数据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。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^[19]。计算公式为

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

式中 ρ_{NR} 、 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^[20]。

相对于 NDVI EV 有许多理论改进^[21-22]。因此,本研究试用 MODIS-EVI 来源于 TERRA/MODIS 网站^[1],空间分辨率为 1 km 时间为 2001 年)作为参数来研究植被时空异质性。

1.2.2 基于 PRISM 的气温和降水

PRISM (Parameter elevation Regressions on Independent Spaces model) 是美国俄勒冈州立大学空间气候研究中心所建立的一种基于地理空间特征和回归统计方法生成气候图的模型,它以数字高程模型 (DEM) 为平台结合 GIS 空间插补技术,综合考虑高程、距离、坡度、坡向、海陆位置、水汽来源等因子对气象要素的影响,通过开窗技术进行线性插值而得到气象要素的空间化^[23]。由于考虑了山地降水、气温分布的空间尺度以及格局等诸多因素,因此它很适合应用于山区^[17]。Dalry 等基于中国及周边国家地区 2 450 多个气象站的观测数据,采用 PRISM 模型技术生成了中国 2.5'×2.5' 长期 (1961~1990 年) 平均月极端高温、平均月极端低温和平均月降水数据^[24],被证明具有较高的可靠性;独立于全国气象站网的 18 个中国生态系统研究网络 (CERN) 生态定位研究站多年平均月极端低温、平均月极端高温和平均月降水的平均相对误差率仅为 6.9%、13.3% 和 19.3%,是现有气象站分布条件所能实现的山区气温和降水空间分布的较好结果^[25]。本研究直接使用此栅格数据^[2]。

1.2.3 基于模型模拟的太阳总辐射

作者结合 Angstrom-Bristow-Campbell 两种太阳总辐射气候学计算模式,以 ARCGIS 9.2 为平台,利用研究区矢量化的地形三要素 (海拔、坡度、坡向)、纬度等完成了潜在太阳总辐射的空间化,然后以研究区内 30 个气象站多年平均有效日照时数和月极端气温差实现了太阳总辐射与太阳潜在总辐射的换算过程,最终达到了太阳总辐射的各月数值空间化。经由实测数据检测,效果良好:平均误差率为 3.45%^[3]。本研究仅使用全年太阳辐射总量。

研究方法

在地理学领域,地统计学数据用来分析各种自然现象的空间格局及变异规律,已被证明是研究景观空间格局和空间比较的有效方法^[6]。

1.3.1 空间自相关的度量

moran 系数 (MC) 是度量空间自相关的主要指标之一,反映空间邻接或空间邻近的区域单元属性值的相似程度^[26]。其算式如下

$$I = (Z_i / S) \sum_{j \neq i}^n w_{ij} Z_j \quad (2)$$

$$S = \sum_j w_{ij} (x_j - \bar{x})^2 / (n-1) (j \neq i) \quad (3)$$

式中 Z_i 和 Z_j 为位置 i 和 j 的属性值与均值的偏差,即 $Z_i = x_i - \bar{x}$ $Z_j = x_j - \bar{x}$ w_{ij} 为二元对称空间权重矩阵元素, $w_{ij} Z_j$ 为周围位置属性值偏差的加权平均。

1.3.2 半变异函数的参数及内涵

Matheron 将变异函数定义为

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x+h) - Z(x)]^2 \quad (4)$$

式中 $\gamma(h)$ 为样本距为 h 的半方差, h 为样本距 (变程 lag), $N(h)$ 为间距为 h 的样本对的总个数; $Z(x)$ 为位置为 x 处的景观特征值, $Z(x+h)$ 为距离 $x+h$ 处的景观特征值。当点对间的距离达到一定程度后 (变程 a) 景观特征值的空间自相关消失,其差异趋于稳定,不再随距离 h 而变化。如果 h 只在一个方向取值,则可以进行在此方向上的变异分析。根据定义,变异函数可以揭示景观要素在区域范围内的空间变异格局^[27]。

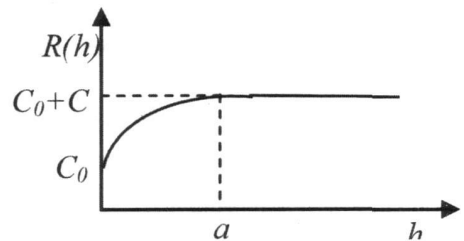


图 2 理论空间变异曲线

Figure 2 Theoretic semivariogram

1. 参数: 通过变异函数及变异函数曲线图 (图 2) 可以得到 4 个极为重要的参数即变程 (range)、基台值 (sill)、块金值 (nugget) 和分维数 (fractal dimension)。前 3 个参数可直接从变异函数曲线图中得到: a $C_0 + C$ C_0 ; 第 4 个参数分维数 D 用于表示变异函数的特性, 由变异函数 $\gamma(h)$ 和间隔距 h 之间的关系确定 ($2\gamma(h) = h^{(4-2D)}$)。

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

2) 数据来源于中国科学院地理科学与资源研究所朱华忠博士

3) 郝成元, 纵向岭谷区南部“阻隔”作用及植被生态效应研究 (博士论文) 中国科学院研究生院, 2006: 43~45

2. 参数的内涵: 各向异性和变异函数的 4 个参数是解释变异函数生态学意义的关键, 它主要有以下两方面的内涵。

(1)各向异性 (anisotropy): 对区域化变量, 变异函数 $\gamma(h)$ 不仅与间隔距离 h 有关, 而且也与方向有关。当一个变异函数是沿某一个特殊方向构造时, 称为各向异性变异函数, 表示为 $\gamma(h, \theta)$ 。显然, 各向异性是空间异质性程度的重要部分。各向异性较高, 意味着空间异质性程度也较高。研究表明, 地形、水分等因子导致的空间异质性常常是各向异性的^[28]。

(2)空间异质性程度 (degrees of spatial heterogeneity): 基台值 ($C_0 + C$)、块金值 (C_0) 和分维数 D 均可以描述空间异质性程度, 在实际应用中以基台值和分维数较为常见。其中, 基台值表示系统属性或区域化变量最大变异, 同一变量的不同区域数值越大表示空间异质性程度越高。但是当不同的区域化变量相比较时, 基台值并不有效, 因为基台值受自身因素和测量单位的影响较大。由于分维数 D 表示变异函数 $\gamma(h)$ 曲线的曲率大小, 因此 D 值越大, 由空间自相关部分引起的空间异质性 SH 越高。 D 值是一个无量纲数, 因此, 可以对不同变量的 D 值之间进行比较, 确定空间异质性程度^[29]。

2 结果与分析

综合考虑各列纵向山地的中心位置, 我们选取 $23^{\circ}39'30'' \sim 23^{\circ}58'0''N$ 作为纬度山地样区, 采用正方形窗口移动方法, 确认每个山地样区有效点数据均为 36×36 共 1 296 个。

空间特征分析

采用经典统计方法, 计算出各样区的主要气候因子的 MC 系数列于表 1。由计算结果可以看出, 不仅不同指标的空间自相关程度不同, 且同一指标在不同方向的空间自相关程度也存在很大差异, 这也是本研究所要强调的。EV 塔主要影响因子包括降水、平均极端低温、平均极端高温、太阳总辐射等在各向同性上绝大部分呈现空间负相关, “阻隔”作用显著; 各向异性正相关程度最高值与山地走向基本相同, 负相关最高值与山地走向的垂直方向基本一致。具体说来, 东北—西南走向的老别山和邦马山, EV 塔主要影响因子在东北—西南方向上正的空间自相关程度最大, 仅有老别山降水的空间自相关最大正值稍稍有偏差, 表现在东西方向上; 而各因子负相关程度最大值多出现在西北—东南方向上, 如极端低温、极端高温和太阳总辐射。南北走向的

表 1 植被主要气候因子统计特征值 MC
Table 1 MC statistics for the main climatic factors of vegetation

区域	变量	ISO	0°	45°	90°	135°
老别山	降水	0.094 7	−0.032 1	0.193 2	0.255 2	0.151 8
	极端低温	−0.138 7	−0.355 0	0.414 5	−0.116 1	−0.695 3
	极端高温	−0.039 0	0.021 9	0.543 1	−0.097 6	−0.294 9
	太阳总辐射	−0.077 4	−0.204 3	0.097 2	−0.058 4	−0.278 5
邦马山	降水	0.097 0	−0.209 4	0.049 0	0.034 0	0.031 8
	极端低温	−0.096 8	0.010 6	0.272 8	−0.392 2	−0.398 9
	极端高温	−0.065 7	0.286 9	0.303 0	−0.381 1	−0.131 7
	太阳总辐射	−0.077 2	−0.193 4	0.079 9	−0.046 4	−0.194 3
无量山	降水	−0.175 5	0.575 4	−0.128 6	0.213 7	−0.065 0
	极端低温	−0.266 0	0.553 4	−0.456 6	−0.879 9	−0.357 7
	极端高温	−0.198 0	0.748 1	−0.071 3	−0.370 5	−0.084 1
	太阳总辐射	0.014 9	0.093 6	0.004 4	−0.120 4	−0.000 2
哀牢山	降水	−0.100 0	0.260 6	−0.274 0	−0.357 5	0.351 5
	极端低温	−0.227 7	−0.101 6	−0.771 4	−0.688 1	0.279 3
	极端高温	−0.181 5	0.376 2	−0.436 8	−0.588 6	0.442 3
	太阳总辐射	−0.032 4	−0.019 3	−0.196 1	−0.124 9	0.171 5

无量山的空间自相关最大正值表现在南北方向上,尤其是平均极端高温的 MC系数高达 0.748 1;负相关程度在西—东方向上表现突出,尤其是极端低温的 MC系数数值高达 -0.879 9。大体呈西北—东南走向的哀牢山的 MC系数正相关高值也出现在了西北—东南方向上;负相关则是在东北—西南方向和西—东方向上较为显著;降水和极端高温 MC系数在西—东方向上负相关绝对值最大,极端低温和太阳总辐射的 MC系数则在西北—东南方向上负值最大。这一切表明了不同山地的“通道—阻隔”作用方向与山地走向具有严格相关性,各个山地“阻隔”作用最大方向与山谷走向的垂直方向基本一致,各个谷地“通道”作用最大方向与山谷走向大体相同。

空间变异分析

采用 GS⁺ (Geo.Statistics) 7.0 对 EVI及气候因子空间变异特征分析,结果见表 2。本研究主要对比 4 个样区基台值 sill 和分维数 D 以分析它们的空间异质性程度及分布特征,因为它们可以从不同侧面说明植被特征的空间分布特征及差异程度。

由上已知,基台值表示系统属性或区域化变量最大变异,同一变量的不同区域数值越大表示空间异质性程度越高。表 2 中所列基台值 sill 排序中,哀牢山的 EVI 降水、极端低温、极端高温、太阳总辐射等 5 变量对比序列号分别为 2、1、1、2、1,平均值为 1.4。老别山、邦马山和无量山的 5 项对比序列号平均为 1.8、2.8、4,即 4 组合地形的 EVI 及主要气候因子的空间变异程度对比较为显著。因此,它们的综合排序从大至小依次为哀牢山、老别山、邦马山和无量山,这表明植被指数 EVI 及其环境影响因子空间异质性程度的大小顺序,反映出了各山地“阻隔”作用程度的大小顺序。其原因主要与 4 山地地形的规模及其走向与主要气流之间的夹角有关。4 山地中,以哀牢山为最雄伟,其西北—东南走向又与影响研究区最主要的气流——西南夏季风几呈正交,因此哀牢山的 EVI 及其主要气候因子的空间异质性程度最为显著就不难理解^[30];相对而言,研究区内的无量山南段地势较为和缓,加之其走向为南北方向,对西南来的潮湿气流(印度夏季风)的水汽截留作用就不是很明显,其空间异质性排名最后也在情理之中。

由表 2 也可知,研究区植被指数 EVI 及主要气候因子的分维数在 1.116~1.906 之间,从对比项目

看 EVI 和太阳总辐射的分维数较大,均在 1.817 以上,说明随机性因素引起的空间变异程度高,空间分布复杂;降水、极端低温和极端高温分维数较低,说明随机性因素引起的空间变异程度低。在 EVI 和太阳总辐射的各向同性半变异分析中,分维数较大,随机性部分引起的空间变异较大,空间分布复杂;而降水、极端低温和极端高温的各向同性半变异模拟函数中分维数较小,随机性部分引起的空间变异较小,空间分布的自相关明显。

表 2 EVI 及主要气候因子的空间变异重要特征值
Table 2 Semi-variance of EVI and its main climatic factors

山地	变量	基台值 Sill		分维数
		数值	不同山地排序	
老别山	EVI	323 600	1	1.818
	降水	33 560	3	1.577
	极端低温	2 950 0	2	1.468
	极端高温	11 120 0	1	1.410
	太阳总辐射	24 820	2	1.862
邦马山	EVI	120 200	3	1.905
	降水	54 400	2	1.534
	极端低温	2 104 0	3	1.468
	极端高温	5 619 0	3	1.452
	太阳总辐射	21 660	3	1.872
无量山	EVI	84 750	4	1.906
	降水	28 300	4	1.538
	极端低温	1 382 0	4	1.439
	极端高温	4 683 0	4	1.418
	太阳总辐射	16 670	4	1.873
哀牢山	EVI	123 300	2	1.872
	降水	67 210	1	1.116
	极端低温	5 619 0	1	1.421
	极端高温	10 547 0	2	1.390
	太阳总辐射	27 680	1	1.817

总之,就各纵向山地的 EVI 及气候因子空间异质性程度,哀牢山和老别山的“阻隔”作用相对较大、空间异质性复杂,邦马山和无量山的“阻隔”作用较小、空间分布较单一;就 EVI 及其气候因子的空间异质性程度对比, EVI 和太阳总辐射的分维数大、空间分布复杂,降水、极端低温和极端高温的分维数小、空间分布较有规律。

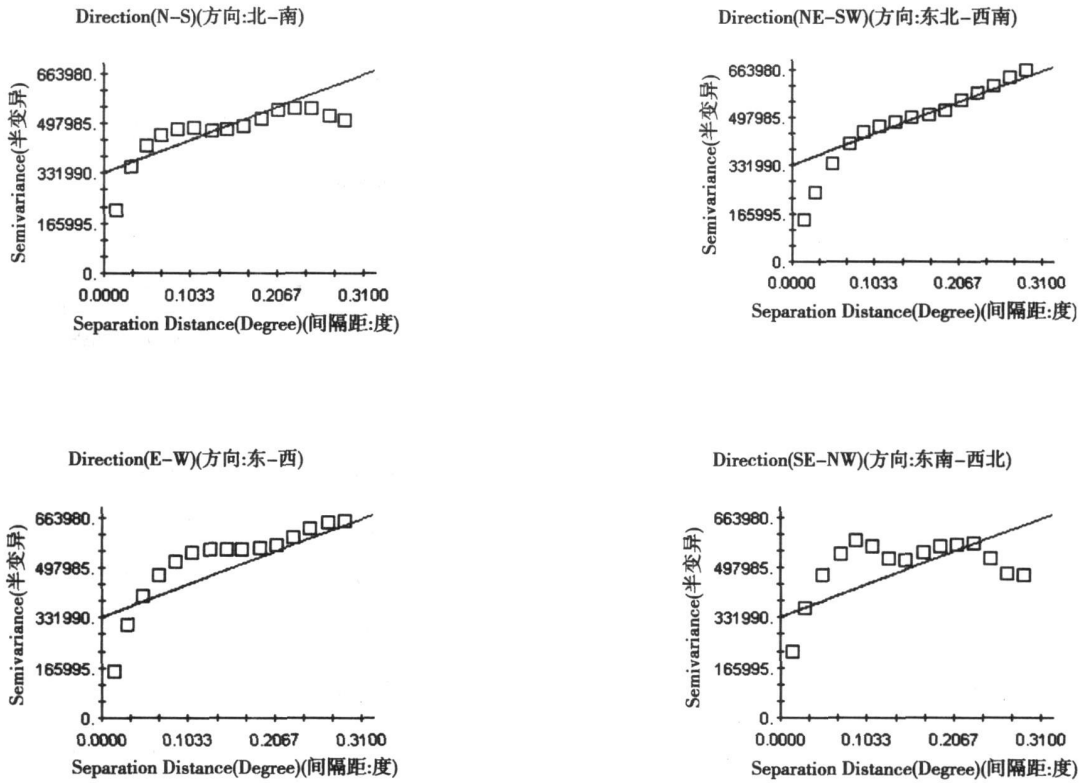


图 3 老别山 *EVI* 各向异性半变异
Fig. 3 Semivariogram of *EVI* in Mt. Laobie

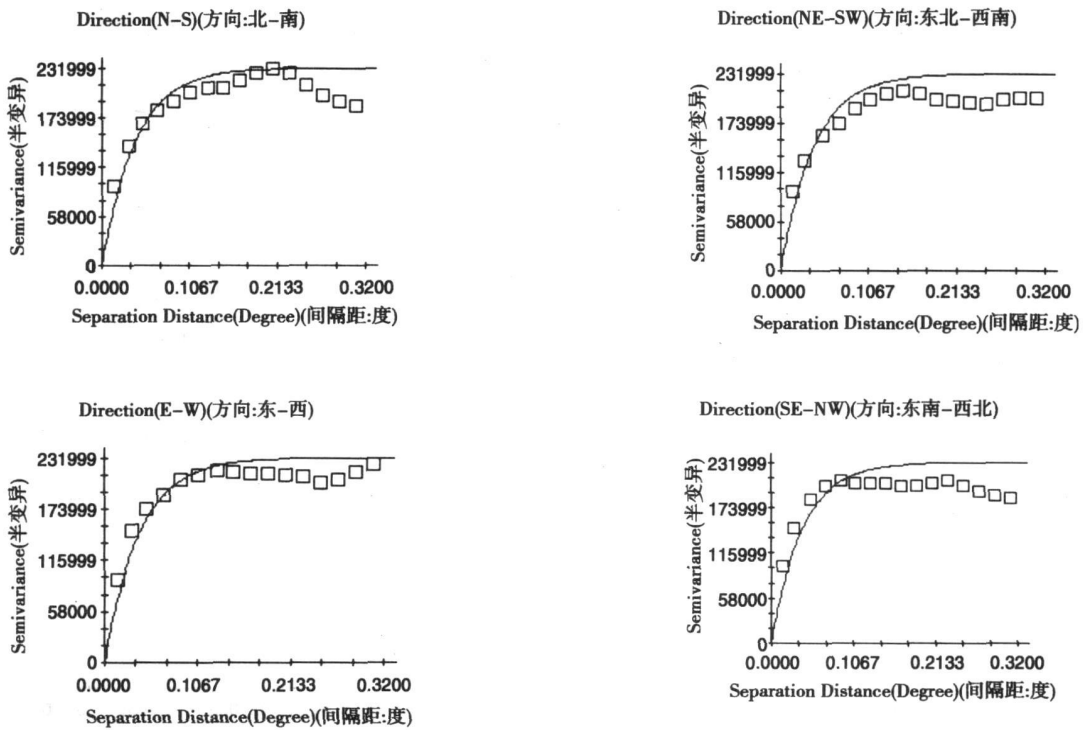


图 4 邦马山 *EVI* 各向异性半变异
Fig. 4 Semivariogram of *EVI* in Mt. Bangma

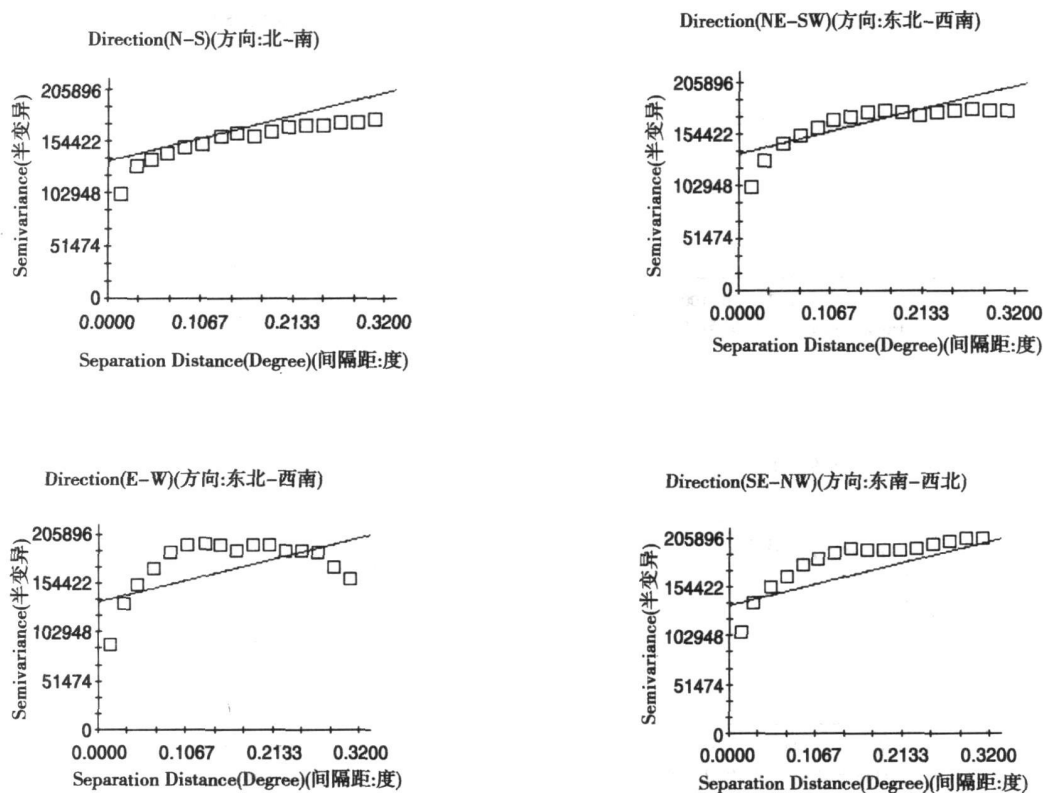


图5 无量山 EVI 各向异性半变异

Fig. 5 Semivariogram of EVI in Mt. Wuliang

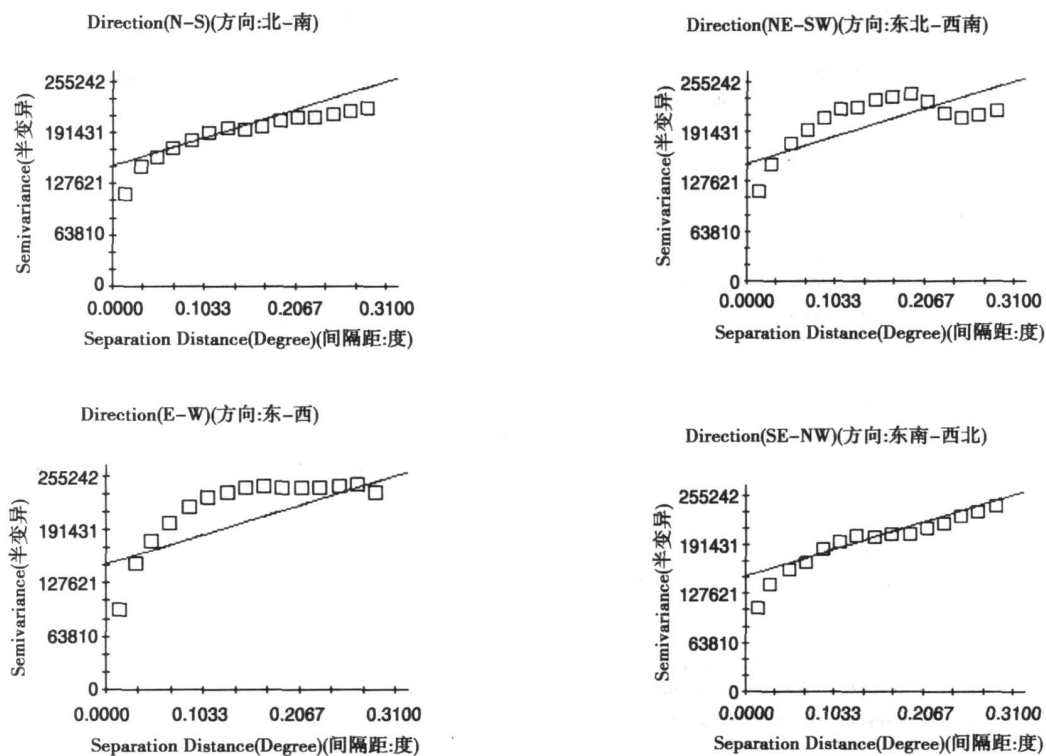


图6 哀牢山 EVI 各向异性半变异

Fig. 6 Semivariogram of EVI in Mt. Ailao

2.3 EV各向异性

上面探讨了影响 EV的主要气候环境因子的各个方向上的空间自相关 MC系数, 为了进一步研究植被特征在不同方向的空间变异特征, 用地统计软件 GS 7.0 绘制了各纵向山地 EV沿南—北(N—S)、东北—西南(NE—SW)、东—西(E—W)和西北—东南(NW—SE)等 4 个方向的变异程度(图 3~6)。由它们可以看出, 各纵向山地植被指数 EV具有不同的各向异性特征。老别山和邦马山的 EV各向异性特征非常相似, 都表现出在南—北方向上变异较大, 其次为东—西方向, 却在东北—西南方向和西北—东南方向上变异较小, 由此可以看出, 老别山和邦马山 EV空间分布特征与研究区地形分布特征十分吻合, 因为两山地走向均为东北—西南走向, 表现出对偏南来气流的的东西方向上“阻隔”作用。南北走向的无量山 EV空间格局特征显示东—西方向和东北—西南方向上变异较大, 而西北—东南方向和南—北方向上变异小的特征; 哀牢山 EV的各向异性却表现出东—西和东南—西北方向上变异大, 南—北和西北—东南方向上变异小, 这当然与哀牢山北偏西—南偏东走向密切相关。

总之, 在主要气流——西南热带季风的大背景下^[31], 各纵向山地的东西方向上 EV变异都比较大, 表明研究区东西方向应是“阻隔”作用的主导方向; EV最大变异方向基本与山地垂直方向一致, 从而也表明了加强植被指数 EV所表现出的各向异性是由“阻隔”作用形成的。相对地, 各纵向山地的南北方向上地形作用应是“通道”作用的主要方向。即各纵向山地的 EV具有不同的各向异性特征, 是山地走向和主要气流自西而东的运行方向共同控制。这一论断与课题组以排列熵为指标度量的地形作用结论是一致的^[32]。

3 结论

1. EV各主要影响气候因子大都呈现负空间自相关, 表明地形作用以“阻隔”作用为主; MC系数正自相关最高值与山地走向基本一致、负自相关最高值与山地走向大体垂直, 说明不同山地的“通道阻隔”作用方向与山地走向严格相关。

2. 哀牢山和老别山的水、温因子空间异质性复杂, “阻隔”作用大; 邦马山和无量山的“阻隔”的水、温因子空间分布较单一, “阻隔”作用相对较小。

3. 纵向山地的 EV数值具有不同的各向异性特征, 与山地走向严格相关, 是山地走向和主要气流自西而东的运行方向共同控制而形成。

4. 研究区植被参数 EV及其水、温、热因子的各向异性统计特征以及其空间变异各向异性特征与自然地理特征(主要是大地形规模和走向)吻合, 说明大的地形特征对植被及环境要素的制约, 及在环境要素作用下植被参数 EV及其气候因子的地域分异规律。

致谢: 对无偿提供 PRISM数据的中国科学院地理科学与资源研究所朱华忠博士表示衷心感谢。

参考文献 (References)

- [1] Wang Zhengquan. Geostatistics and Its Application in Ecology [M]. Beijing: Science Press, 1999. 151~153 [王政权. 地统计学及在生态学中的应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1999. 151~153]
- [2] Forman R T T. Land Mosaics: the Ecology of Landscapes and Regions [M]. Cambridge University Press, 1995. 50~55
- [3] Chen Yufu, Dong Ming. Spatial heterogeneity in ecological systems [J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(2): 346~352 [陈玉福, 董鸣. 生态系统的空间异质性 [J]. 生态学报, 2003, 23(2): 346~352]
- [4] Robinson G P, Gross K L. Assessing the heterogeneity of below ground resources: quantifying pattern and scale [A]. In: Callaway R M and Pearcy R W. Ed. Exploitation of Environmental Heterogeneity by Plants [C]. New York: Academic Press, 1994. 237~253
- [5] Oveimar K P, Konings G H J, Veldkamp A. Spatial autocorrelation in multi-scale land use models [J]. Ecological Modelling, 2003, 164: 257~270
- [6] Li Habin, Wu Yegang. Quantitative methods in landscape ecology [A]. In: Liu Jiaoguo Ed. Advance in Modern Ecology [C]. Beijing: Chinese Science & Technology Press, 1992. 209~233 [李哈滨, 伍业刚. 景观生态学的数量研究方法 [A]. 见: 刘建国主编, 当代生态学博论 [C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 209~233]
- [7] Wu J, Jelinski D E, Ludwig, et al. Multiscale analysis of landscape heterogeneity: scale variance and pattern metrics [J]. Geographic Information Systems, 2000, 6: 6~19
- [8] Zheng D. Formation Environment and Evolution of Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau [M]. Shijiazhuang: Hebei Science and Technology Press, 2003. 195~233 [郑度. 青藏高原形成环境与发展 [M]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 2003. 195~233]
- [9] Geography Institute in Chinese Academy of Sciences. Legends of Geomorphological Map in China [M]. Beijing: Science Press, 1987. 33~35 [中国科学院地理研究所. 中国 1:1 000 000 地貌图图例说明 [M]. 北京: 科学出版社, 1987. 33~35]
- [10] Wang Shengyue. Geography of Yunnan [M]. Kunming: Yunnan Nationality Press, 2002. 46~48 [王声跃. 云南地理 [M]. 昆明: 云南民族出版社, 2002. 46~48]

- [11] Chen Yan, Ding Yihui, Xiao Zhiyi et al. The impact of water vapor transport on the summer monsoon onset and abnormal rainfall over Yunnan Province in May [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences 2006 30(1): 25 ~ 37 [陈艳, 丁一汇, 肖子牛, 等. 水汽输送对云南夏季风爆发及初夏降水异常的影响 [J]. 大气科学, 2006 30(1): 25 ~ 37]
- [12] Liang Miaoqing, Xie Zhenghui. Simulations of climate effects on vegetation distribution and net primary production in China [J]. Climatic and Environmental Research 2006 11(5): 582 ~ 592 [梁妙玲, 谢正辉. 我国气候对植被分布和净初级生产力影响的数值模拟 [J]. 气候与环境研究, 2006 11(5): 582 ~ 592]
- [13] Qi Zhongxiang. Plant Ecology [M]. Beijing: Higher Education Press 1984: 45 ~ 51 [曲仲湘. 植物生态学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1984: 45 ~ 50]
- [14] Gao Zhiqiang, Liu Jiyuan. The study on driving factors and models of NDVI change based on remote sensing and GIS in China [M]. Climatic and Environmental Research 2000 5(2): 155 ~ 164 [高志强, 刘纪远. 基于遥感和 GIS 的中国植被指数变化的驱动因子分析及模型研究 [M]. 气候与环境研究, 2000 5(2): 155 ~ 164]
- [15] Harano, Hirata K, Fujiwara M et al. Vegetation structure in relation to micro-landform in an evergreen broad-leaved forest on Amami Ohshima Island, South-West Japan [J]. Ecological Research 1996 11: 325 ~ 337
- [16] Chen Yunhao, Li Xiaohong, Shi Peijun. Variation in NDVI by climate factors across China 1983 ~ 1992 [J]. Acta Phytocologica Sinica 2001 25(6): 716 ~ 720 [陈云浩, 李晓兵, 史培军. 1983 ~ 1992 年中国陆地 NDV 变化的气候因子驱动分析 [J]. 植物生态学报, 2001 25(6): 716 ~ 720]
- [17] Hao Chengyuan, Dai Erfei, Wu Shaohong et al. Research on Barrier function and temporal and spatial heterogeneity of vegetation in the southern of LRGR [J]. Chinese Science Bulletin 2006 51(3): 143 ~ 153
- [18] Guo Zhenhai. The relationship between the vegetation canopy and rainfall over north China [J]. Climatic and Environmental Research 2006 11(3): 380 ~ 386 [郭振海. 南水北调华北受水区植被与降水的关系研究 [J]. 气候与环境研究, 2006 11(3): 380 ~ 386]
- [19] Gao X, Huete A R, Ni W et al. Optical biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination [J]. Remote Sensing of Environment 2000 74(2): 609 ~ 620
- [20] Huete A, Justice C, Leeuwen W. MODIS Vegetation Index (mod13). Version 3. Algorithm Theoretical Basis Document [DB/OL]. 1999
- [21] Wang Zhengxing, Liu Chuang, Huete A. From AVHRR-NDVI to MODIS-EVI: advances in vegetation index research [J]. Acta Ecologica Sinica 2003 23(5): 979 ~ 987 [王正兴, 刘闯, Huete A. 植被指数研究进展: 从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI [J]. 生态学报, 2003 23(5): 979 ~ 987]
- [22] Cheng Qian, Huang Jingfeng, Wang Renchao. Preliminary analysis of difference between MODIS and NOAA/AVHRR vegetation indices [J]. Bulletin of Science and Technology 2005 21(2): 205 ~ 209 [程乾, 黄敬峰, 王人潮. MODIS 和 NOAA/AVHRR 植被指数差异初步分析 [J]. 科技通报, 2005 21(2): 205 ~ 209]
- [23] Daly C, Johnson G L. PRISM Spatial Climate Layers: Their Development And Use. Short course on topics in applied climatology. Dallas, Tex 10 — 15 January. Available online at [http://www.oce.orst.edu/Prism/PrismGuid.Pdf]. Boston, mass: Am meteorological Society 1999
- [24] Daly C, Gibson W P, Hanna D et al. Development of new climate and plant adaptation maps for China [J]. In Proc. 12th Conf. on Applied Climatology 8211 May Asheville NC; American meteorological Society [C], 2000
- [25] Zhu Huazhong, Luo Tianxiang, Daly C. Validation of simulated grid data sets of China's temperature and precipitation with high spatial resolution [J]. Geographical Research 2003 22(3): 351 ~ 359 [朱华忠, 罗天祥, Christopher Daly. 中国高分辨率温度和降水模拟数据的验证 [J]. 地理研究, 2003 22(3): 351 ~ 359]
- [26] Getis A, Ord J K. The analysis of spatial association by the use of distance statistics [J]. Geographical Analysis 1992 24(3): 189 ~ 206
- [27] Palmern W. Fractal geometry: a tool for describing spatial patterns of plant communities [J]. Vegetatio 1988 75: 91 ~ 102
- [28] Qi Yuan, Wang Yimou, Wang Jianhua. The landscape structure and heterogeneity of the west part of ecotone between agriculture and animal husbandry [J]. Acta Ecologica Sinica 2002 22(11): 2006 ~ 2014 [祁元, 王一谋, 王建华. 农牧交错带西段景观结构和空间异质性分析 [J]. 生态学报, 2002 22(11): 2006 ~ 2014]
- [29] Car JR, Benzer W B. On the practice of estimating fractal dimension [J]. Mathematical geology 1991 23(7): 945 ~ 958
- [30] Hao Chengyuan, Wu Shaohong, Li Shuangcheng. Study on the method of areal differentiation based on SOM [J]. Progress in Geography 2008 27(5): 121 ~ 127 [郝成元, 吴绍洪, 李双成. 基于 SOM 的区域界线划分方法 [J]. 地理科学进展, 2008 27(5): 121 ~ 127]
- [31] Liang Jianyi, Wu Shangsen. A study of southwest monsoon onset date over the south China sea and its impact factors [J]. Chinese Journal of Atmospheric Science 2002 26(6): 829 ~ 844 [梁建茵, 吴尚森. 南海西南季风爆发日期及其影响因子 [J]. 大气科学, 2002 26(6): 829 ~ 844]
- [32] Hao Chengyuan, Wu Shaohong, Li Shuangcheng. measurement of climate complexity using permutation entropy [J]. Geographical Research 2007 26(1): 46 ~ 52 [郝成元, 吴绍洪, 李双成. 排列熵应用于气候复杂性度量 [J]. 地理研究, 2007 26(1): 46 ~ 52]

Comparisons on EVI Spatial Variation and Causes Exploration among Different Mountains in the Southwest Yunnan Province of China

HAO Chengyuan¹, ZHANG Yongling¹, WU Shaohong²

(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)

Abstract: In the southwest of Yunnan Province of China, there are Mt Laobie, Mt Bangma, Mt Wuliang and Mt Ailao, which influenced its climate and vegetation. It may be one of the main issues of mountain ecology in China. In this paper, moran coefficient (MC) was adopted to calculate the spatial autocorrelation degree, and semivariance function was used for spatial variability and spatial heterogeneity analysis. The results indicate that the spatial differentiation patterns of main climatic factors have been consistent with the trend of mountains, showed higher autocorrelation in south-north direction and lower in west-east direction. And all these indicate that the barrier function was remarkable in the orientation of the mountains while the topographic corridor effect was rather obvious in the extension direction. The barrier function was stronger with more complicated structure resulted from directivity for Mt Ailao and Mt Laobie while it was weaker for Mt Bangma and Mt Wuliang. All in all, the corridor-barrier functions of vertical mountains were closely related to the trend and scale of each mountain.

Key words: the combination of ranges and gorges; EVI spatial variability; anisotropism; “corridor-barrier” functions

《山地学报》来稿要求 (一)

1. 来稿如系国家和省级自然科学基金资助项目或国家、省部级重点 (专项资助) 项目, 请在首页脚注处标明项目名称和编号, 并译成对应英文, 以方括号括住附于中文后。

作者简介置于首页脚注处, 包括姓名 (出生年)、性别 (民族)、籍贯 (省市)、学位、职称、从事专业方向、联系电话、E-mail 等, 亦须译成对应英文附于中文作者简介后。

2. 来稿请寄计算机录入排版的打印样稿 2 份, 录入软件请用 Word 或北大方正 (书版)。来稿须符合本刊规定的正、辅文项目齐全的要求, 且位置正确。

3. 插图切勿过大, 图中文字数据等请按制图规范制作、标注。文稿中应标明插图位置, 并在图框下标明中、英文对照的图号、图题和图注 (图注置于图与图名之间)。表应有中、英文对应的表名, 对说明主题有重要价值的表内栏目亦请附对应英译名称。图、表宽度以 70 mm 或 150 mm 为宜, 表一般应为三线表。

4. 文稿中外文字母、符号必须分清大小写、正斜体、黑白体; 上下标的字母、数码和符号, 其位置高低应区分明显, 容易混淆的外文字母请用铅笔标注语种。文中计量单位必须采用国家法定计量单位符号表示。

5. 参考文献采用 GB7714—8 规定的“顺序编码制”, 按文中出现的先后为序编码并将序号置于方括号中放在引用处的右上角 (即上标)。参考文献类型及其标识代码根据 GB3469—83 的规定, 以字母方式标识, 它们是: 专著 [M], 期刊文章 [J], 论文集 [C], 论文集析出文献 [A], 报告 [R], 软件 [CP], 国家标准 [S], 报纸文章 [N], 学位论文 [D], 其他 [Z]; 联机网上数据库 (database online) [DB/OL]; 磁带数据库 [DB/MT]; 光盘图书 [M]; 网上期刊 [J/OL]; 网上电子公告 [EB/OL]。