

红河流域 NDVI 时空变化及其与气候因子的关系

李运刚, 何大明*

(云南大学亚洲国际河流中心, 云南 昆明 650091)

摘要: 纵向岭谷区的“通道-阻隔”作用及其生态效应多年来一直是山地生态研究的热点。位于纵向岭谷区东侧的红河流域, 其地表关键生态水文要素的时空格局及变化也受到“通道-阻隔”作用的极大影响。利用红河流域 1981~2006 年 GIMMS 数据和 2006 年 SPOT VEGETATION 数据以及 42 个气象站点 1981~2001 年逐日降水、温度数据, 使用 GIS 方法和地统计学方法, 探讨河谷和山脉地形的“通道-阻隔”作用下红河流域 NDVI 时空变化及与气候因子的关系。研究表明: (1) 红河流域植被指数在不同方向的空间自相关程度分异明显, 植被指数分布总体上受地形、水热分布格局等因素的结构性影响, 但在各个方向存在差异: 在哀牢山的阻隔作用下, 西南-东北向和东西向的植被指数分维数较低, 随机部分引起的植被指数空间分异较小, 而结构性变异较大; 在河谷的通道作用下, 西北-东南向和南-北向的植被指数分维数较高, 均匀性程度较好。(2) 红河流域 NDVI 对温度和降水变化的响应具有“时滞效应”, 滞后时间属于 30~165 d NDVI 对降水变化的响应在时间上先于对温度变化的响应; 在河谷和山脉的“通道-阻隔”作用下, NDVI 对温度和降水变化的滞后时间和敏感程度有明显的空间差异。(3) 红河流域 NDVI 总体上没有明显的增加趋势, 但存在区域差异性和空间异质性; 占流域面积 66.77% 地区的 NDVI 有增加的趋势, 33.23% 的地区有减少的趋势, 年 NDVI 变化率在 -15.23%~23.16% 间。

关键词: NDVI; 气候因子; 通道-阻隔作用; 红河流域; 纵向岭谷区

中图分类号: Q948

文献标识码: A

归一化植被指数 (Normalized Difference Vegetation index, NDVI) 是遥感影像的近红外波段 (NIR) 和红外波段 (R) 反射率的比值参数, 计算公式是 $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$ 。NDVI 是植被生长状态及植被空间分布密度的最佳指示因子, 与植物覆盖分布密度呈线性相关^[1]。因此, NDVI 数据被广泛应用于全球、大陆、区域等空间尺度的植被年际变化研究。研究发现全球、特别是北半球的植被活动有增加的趋势^[2-4], 对我国不同地区的植被覆盖变化研究也得到相似的结论^[5-8]。植被-气候关系一直是全球变化研究的重要内容。植被生长和温度、降水等气候条件密切相关, NDVI 对气候因子的响应具有显著的空间差异^[9-11], 不同的植被类型对温度、降水的响应存在很大差异^[12], 而且 NDVI 对气候因子

的响应具有“时滞效应”^[13]。

由于青藏高原抬升所导致的地形因素影响, 纵向岭谷区地貌、气候、水文、土壤、植被等主要地理要素, 受到沿河谷、山脉南北方向的“通道”作用和东西方向的“阻隔”作用, 在时空尺度上表现出变化的多样性、独特性。纵向岭谷特殊环境格局的“通道-阻隔”作用, 对该区地表环境、生态系统和文化多样性的形成与演化具有直接的驱动效应, 是该区山地生态研究的热点^[14, 15]。纵向岭谷区的红河流域, 位于 $22^{\circ}21' \sim 25^{\circ}36'N$ 和 $100^{\circ}07' \sim 105^{\circ}42'E$, 流域面积约 $7.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图 1)。流域内分布着近似南北走向的巨大山脉 (哀牢山、无量山) 和河谷 (李仙江、元江), 其“通道-阻隔”作用制约着流域地表的水热分布格局^[16], 影响着区域生态系统的分布与

收稿日期 (Received date): 2008-12-25; 改回日期 (Accepted): 2009-03-15.

基金项目 (Foundation item): 国家重点基础研究发展计划 (973 项目) (2003CB415105). [Supported by the National Key Project for Basic Research of China (2003CB415105).]

作者简介 (Biography): 李运刚 (1983-), 男 (白族), 云南人, 博士研究生, 主要从事跨境生态安全研究. [Li Yungang (1983-), Male, the Bai nationality. Mostly field Transboundary Ecoscurity.] E-mail: qyqyhg@gmail.com

* 通讯作者 (Corresponding author): 何大明 (He Daming). E-mail: dmhe@ynu.edu.cn

变化,对植被的空间分布产生了明显的生态效应^[17-18]。因此,本文将选取NDVI作为指标,分析红河流域河谷和山脉地形影响下的NDVI-气候因子关系及NDVI年际变化,探讨流域植被指数空间分异与“通道-阻隔”作用的关联。

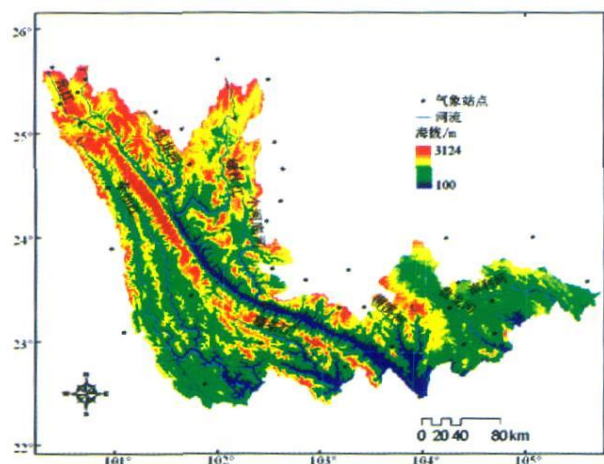


图 1 红河流域地形示意图

Fig. 1 The topography of the Red River Basin in China

1 数据与方法

1.1 数据

数据主要包括:研究区 42 个气象站点连续 21 a (1981-07~2001-12)的日均温和日降水观测数据;GMMS数据来自美国航空航天局(NASA)全球监测与模型研究组(Global Inventor Modeling and Mapping Studies GMMS)发布的 26 a(1981-07~2006-12)半月最大合成(Maximum Value composite, MVC)NDVI数据^[19],空间分辨率为 8 km;SPOT VGT 数据来自比利时佛莱芒技术研究所(Flemish Institute for Technological Research Vito)发布的 10 d最大合成数据,空间分辨率约 1 km,时间是 2006-01~12。GMMS和 SPOT VEG 数据都已经过几何精纠正、辐射校正、大气校正等预处理,都采用最大合成法(MVC)以减少云、大气、太阳高度角等的影响。

1.2 数据处理

对研究区各个气象站点温度和降水的逐日数据进行处理,得到与NDVI时间序列数据相匹配的 15 d平均温度和降水数据。把各站点的NDVI时间序列与相应的温度和降水序列进行相关分析,并对NDVI序列进行不同时间推移,分析NDVI与温度和降水

相关性。采用国际通用的MVC法,在ArcGIS 9.0软件中对研究区的GMMS数据和SPOT VGT 10 d数据进行最大化处理,获得最大化年、月NDVI数据。

在红河流域NDVI的年际变化中,由于1981年只有6个月数据,不能代表全年植被覆盖水平,因此选择1982~2006年连续25 aNDVI数据进行变化趋势分析。利用线性法,趋势显著性检验采用F检验。按照各象元年NDVI值变化趋势显著性水平,将其变化趋势分为:增加、减少极显著($P \leq 0.01$),增加、减少显著($0.01 < P \leq 0.05$),增加、减少,但不显著($P > 0.05$)。各象元NDVI变化率计算公式为^[20]

$$NDVI\text{变化率}(\%) = \text{直线斜率} / \text{均值} \times 25 \times 100 \quad (1)$$

式中 直线斜率表示NDVI对年份的直线斜率,即对25 a的年平均NDVI值与年份之间求直线回归,所得回归直线的斜率,均值为25 a的年均NDVI值。

1.3 空间自相关和半变异函数

空间自相关广义反映的是景观特征与临近单元属性值的相关程度^[21],这里用来表示某空间单元植被参数与临近单元植被参数的相关程度。Moran系数(MC)是用于度量空间自相关的指标之一,反映空间邻接或空间临近的区域单元植被参数特征的相似程度^[22]。Moran's I计算公式如下

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij} (x_i - \bar{X})(x_j - \bar{X})}{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij}) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \quad (2)$$

式中 x_i, x_j 分别为植被参数 x 在空间单元 i, j 的值, \bar{X} 为均值, ω_{ij} 为权重, n 为空间单元数。其中 $I \in [-1, 1]$, $I = 0$ 时变量空间无关, $I > 0$ 时为正相关, $I < 0$ 则为负相关。

植被参数的空间分布与地理环境要素密切相关,在空间上呈现一定的分布规律,以区域化变量(Regional Variable)为基础^[23],研究红河流域植被参数的空间分异及其结构特征。半变异函数计算公式如下

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x+h) - Z(x)]^2 \quad (3)$$

式中 $\gamma(h)$ 是样本距为 h 的半方差, h 是样本距(变程 lag), $N(h)$ 是间距为 h 的样本对的总个数, $Z(x)$ 是位置为 x 处的植被参数值, $Z(x+h)$ 是距离 $x+h$ 处的植被参数值。分维数 D 的大小可以作为随机变异的度量^[24],其计算公式为: $D = 2 - m/2$ 式中 m 为双对数变异函数的斜率。分析工具为GS+

7. 0地统计学软件。

2 分析结果

2. 1 NDVI与气候因子关系

2. 1. 1 NDVI与气候因子的“时滞效应”

将 1981年到 2001 年各个气象站点的月均温度、月降水和最大化月 NDVI数据进行标准化, 得出如下 NDVI与温度和降水量变化的耦合关系 (图 2)。

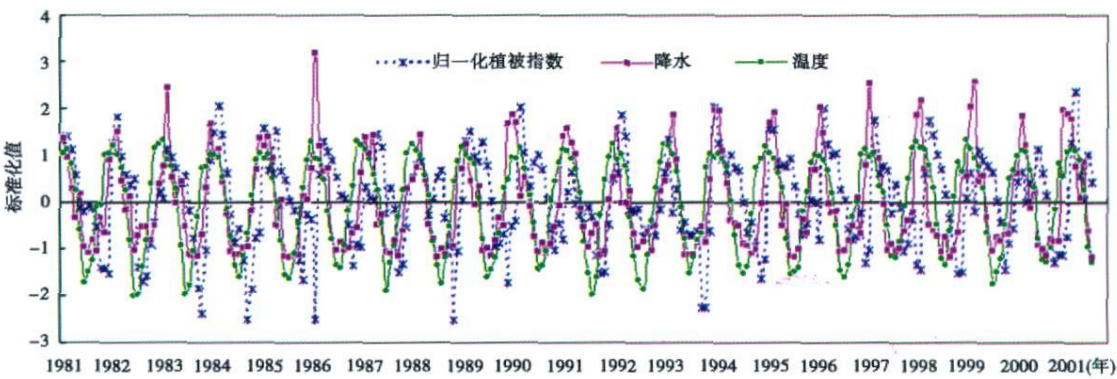


图 2 植被指数与温度降水关系

Fig. 2 Relation between NDVI and temperature and precipitation

图 2显示: 流域 42个气象站点的月平均温度和降水总的变化趋势基本一致, 属于雨热同期; 年均温度变幅不大, 其周期变化曲线较为平滑; 降水年内分配不均匀, 主要集中在 6~ 8月; NDVI变化与温度和降水变化的总趋势相近, 但其极值点 (波峰和波谷)

的出现时间与温度和降水的极值出现时间不对应, 在大多数年份滞后于温度和降水, 具有明显的“时滞效应”。全区 42个气象站点温度、降水及 NDVI的平均结果在一定程度上能反映区域 NDVI- 温度和 NDVI- 降水之间的互动关系。

表 1 NDVI- 温度和 NDVI- 降水的最大相关系数 (R_{max})及其对应的滞后时间梯度 (T)

Table 1 Them ax in m correlation coefficient and lag time gradient of NDVI-temperature and NDVI-precipitation

站点	降水		温度		站点	降水		温度		站点	降水		温度	
	R_{max}	T	R_{max}	T		R_{max}	T	R_{max}	T		R_{max}	T	R_{max}	T
安宁	0.206	8	0.338	9	开远	0.552	3	0.709	5	双柏	0.364	7	0.557	8
楚雄	0.309	3	0.440	6	禄丰	0.305	3	0.463	7	巍山	0.376	8	0.583	8
大理	0.284	8	0.449	8	绿春	0.310	7	0.386	6	文山	0.542	2	0.642	4
峨山	0.289	8	0.417	9	麻栗坡	0.543	2	0.648	3	武定	0.357	3	0.446	6
富宁	0.536	2	0.698	3	马关	0.512	2	0.638	4	西畴	0.489	2	0.556	4
个旧	0.426	3	0.486	4	蒙自	0.463	3	0.599	5	祥云	0.287	9	0.528	9
广南	0.494	2	0.642	3	弥渡	0.262	9	0.612	9	新平	0.341	8	0.457	9
河口	0.549	2	0.799	2	墨江	0.441	6	0.542	7	砚山	0.531	2	0.635	4
红河	0.431	6	0.587	5	南华	0.304	9	0.403	10	易门	0.283	8	0.471	9
建水	0.468	2	0.653	4	南涧	0.395	3	0.619	6	玉溪	0.378	11	0.451	9
江城	0.406	6	0.485	8	屏边	0.472	2	0.608	3	元江	0.419	3	0.634	5
金平	0.205	7	0.248	8	普洱	0.346	8	0.464	9	元谋	0.501	4	0.658	7
晋宁	0.304	10	0.455	9	丘北	0.498	3	0.631	5	元阳	0.366	2	0.404	4
景东	0.392	8	0.564	9	石屏	0.228	5	0.366	6	镇沅	0.380	8	0.524	10

为进一步探讨 $NDVI$ 对温度和降水变化的“时滞效应”, 分别取同期、15 d 30 d、180 d 作为时间梯度, 计算 42 个气象站点 $NDVI$ 与温度和降水数据序列的相关系数, 取最大相关系数 (R_{max}) 对应的时间梯度作为滞后时间 (表 1)。分析结果表明: (1) 在不考虑“时滞效应”情况下, 42 个气象站 $NDVI$ - 温度和 $NDVI$ - 降水关系的相关性较差, 而考虑“时滞效应”时, 所有站点的相关性都能达到显著相关 ($P < 0.01$)。 (2) $NDVI$ 对温度变化的滞后时间属于 30~165 d $NDVI$ 对降水变化的滞后时间属于 30~150 d 总体上 $NDVI$ 对降水变化的响应比较迅速, 对温度变化的响应较为缓慢。 (3) 不同站点 $NDVI$ 变化对水热组合反应时间不同, 在 42 个气象站中, 大理、河口、巍山和祥云 4 个站点 $NDVI$ 对温度和降水的滞后时间相同; 红河、晋宁、绿春、玉溪 4 个站点 $NDVI$ 对降水的滞后时间长于对温度的滞后时间; 其余的 34 个站点 $NDVI$ 对降水的滞后时间均短于对温度的滞后时间。

$NDVI$ 对温度和降水变化的时间滞后随植被类型、土壤特性、地形条件等因素而变化。红河流域 $NDVI$ 对温度和降水的时间滞后表现出地域差异性, 这与流域的岭谷地形及其通道 - 阻隔作用有关联: 在河谷通道作用下, 元江河谷地区 $NDVI$ 对温度和降水变化的滞后时间由南向北逐渐增长; 在哀牢山阻隔作用下, 哀牢山以西李仙江流域 $NDVI$ 对降水和温度的滞后时间比东部盘龙河流域地区的长。

2.1.2 $NDVI$ - 气候因子关系的空间格局

以 $NDVI$ - 温度和 $NDVI$ - 降水的 R_{max} 来表示 $NDVI$ 对温度和降水变化的敏感程度, 利用克里格插值方法对 42 个气象站的 R_{max} 进行空间插值, 生成红河流域 $NDVI$ 对温度和降水变化反应敏感程度的空间格局 (图 3)。红河流域 42 个站点 $NDVI$ - 温度的 R_{max} 介于 0.248~0.799 间, $NDVI$ - 降水的 R_{max} 介于 0.205~0.552 间, 各站点 $NDVI$ - 温度的 R_{max} 均大于 $NDVI$ - 降水的 R_{max} 说明红河流域 $NDVI$ 对温度变化的敏感程度高于对降水变化的敏感程度。

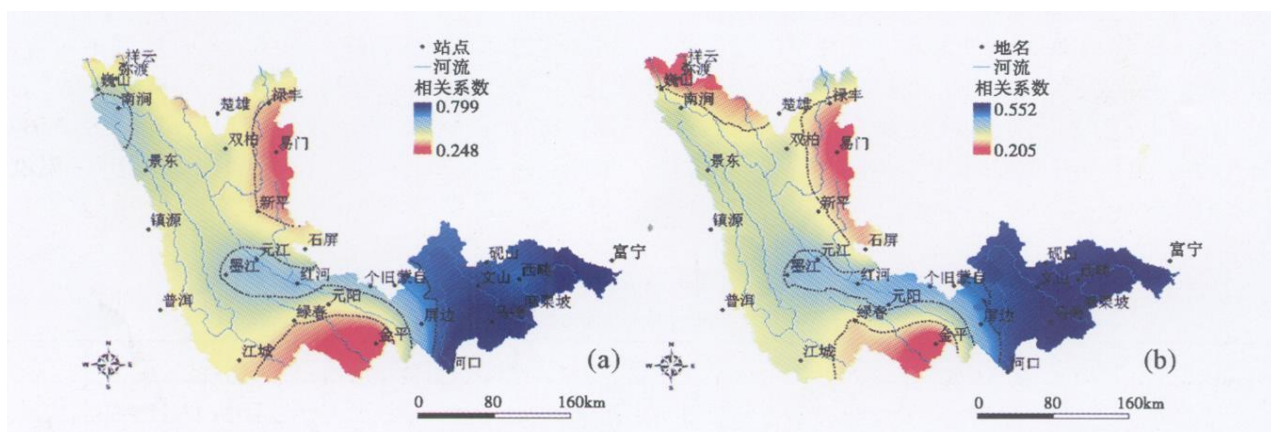


图 3 红河流域植被 - 温度 (a) 和植被 - 降水 (b) 变化相关性空间格局

Fig 3 Spatial pattern of correlation of vegetation-temperature change (a) and vegetation-precipitation change (b)

图 3 表明 $NDVI$ 对温度和降水变化反应的敏感程度在空间上呈不均匀分布, 形成几个高相关和低相关中心, 明显与“通道 - 阻隔”作用有关联。由于哀牢山对西南暖湿气流的阻挡, 西侧地区水热条件较好, 温度和降水不是植被生长的限制因素, 因此 $NDVI$ 对温度和降水反应的敏感程度相对较低。哀牢山以东地区温度和降水相对较低, 主要分布有稀树灌木草丛和灌丛, 植被生长对水热条件依赖程度较高, 所以 $NDVI$ 对温度和降水的敏感程度相对较高。

2.2 $NDVI$ 的年际变化

将每年的 MVC 月 $NDVI$ 数据进行平均获得年均 $NDVI$ 数据, 代表全流域当年植被覆盖的平均水平。对红河流域 $NDVI$ 的年际变化进行分析 (图 4), 研究表明最近 25 a (1982~2006 年) $NDVI$ 变化总体趋势上升, 有 4 个差异性明显的变化阶段: 持续增加期 (1982~1989 年); 迅速下降期 (1989~1993 年); 快速增加期 (1993~1996 年) 和波动缓慢下降期 (1996~2006 年)。 $NDVI$ 总体上升趋势的相关系数未能通过 $\alpha = 0.1$ 的显著性检验, 说明上升趋势并不显著, 这与我们西南地区植被覆盖变化的研究结论相一致^[8]。

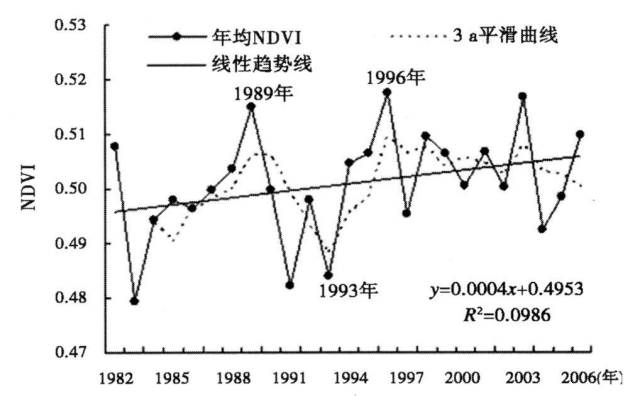


图 4 1982~2006 年红河流域年均 NDVI 变化趋势

Fig. 4 Themean annualNDVI change trend of Red R river Basin during 1982 to 2006

利用式 (1) 计算流域的年 NDVI 变化 (图 5), 图 5 显示年 NDVI 的变化存在明显的区域差异性和空间异质性: 年 NDVI 有增加趋势的占流域面积的

66.77%, 有下降趋势的占 33.23%; 全流域的年 NDVI 变化率在 -15.23% ~ 23.16% 间, 大部分地区的年 NDVI 变化率主要集中在 -7.55% ~ 15.47% 间, < -7.55% 和 > 15.47% 的地区面积不大。置信度水平在 95% ~ 99% 显著增加的区域, 呈块状分布在绿枝江、哀牢山、李仙江下游和盘龙河, 其面积约占全流域面积的 12.55%, 年 NDVI 变化率在 7.8% ~ 23.16% 间。增加不显著区域在全流域呈不连续分布, 其分布面积占流域面积的 54.22%, 年 NDVI 变化率在 0 ~ 7.8% 间。置信度水平在 95% ~ 99% 显著减少的区域面积很小, 仅占流域面积的 1.69%, 在全流域零星分布, 年 NDVI 变化率在 -15.23% ~ -7.55% 间。减少不显著区域呈块状分布在在小河底河、阿墨江、元江下游和南溪河地区, 面积约占流域总面积的 31.54%, 年 NDVI 变化率在 -7.55% ~ 0 之间。

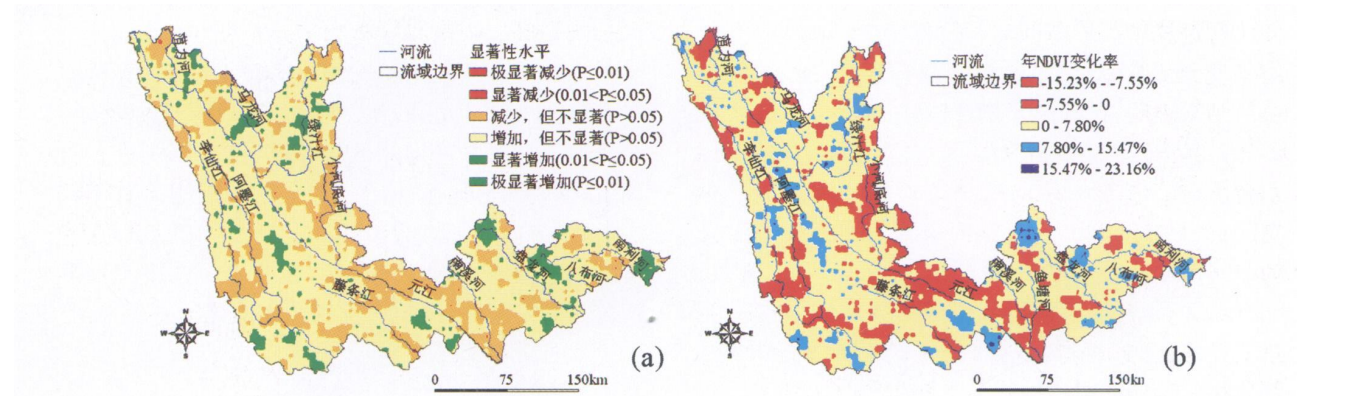


图 5 红河流域 1982 ~ 2006 年 NDVI 趋势变化显著性水平 (a) 及其变化率 (b) 的空间分布

Fig. 5 Spatial pattern of significance level for NDVI change trend (a) and its change rate (b) in red river during 1982 ~ 2006

2.3 植被指数的空间变异

2.3.1 植被指数统计特征

使用 2006 年 SPOT VEG 年均 NDVI 数据, 在 ArcGIS 9.0 中将数据转化为空间分辨率为 1 km 的栅格, 为使空间自相关分析在距离上误差最小, 投影方式选择 UTM。对植被指数特征值进行统计: 研究区有效数据为 74 561 个像元, 最大值为 0.84, 最小值为 0.22, 平均值为 0.63, 偏态系数为 -0.63, 峰态系数为 3.52。这些统计特征值从整体上对植被指数特征进行了描述。

应用式 (2), 计算植被指数在全局 (ISO)、南 - 北 (S - N)、东北 - 西南 (NE - SW)、东 - 西 (E - W) 和西北 - 东南 (NW - SE) 5 个方向的 Moran's I 系数 (图 6), 结果表明植被指数在不同方向的空间自

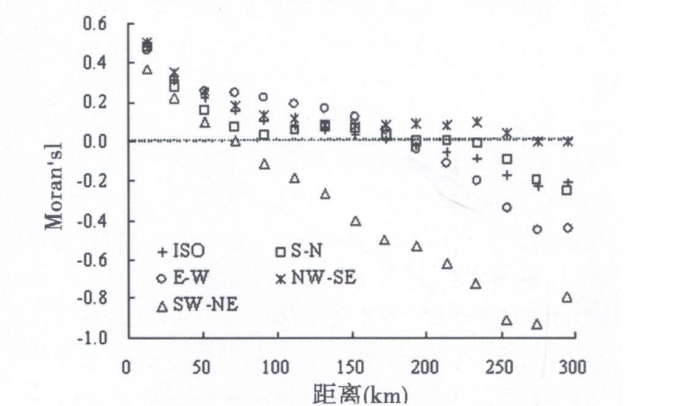


图 6 植被指数在各方面的 Moran's I 系数变化

Fig. 6 The Moran's I coefficient variation of vegetation index in different direction

相关程度存在很大差异,其中西北-东南方向的空间正相关距离最长,明显受西北-东南向展布的河谷“通道”作用和地形走向的影响;受山脉阻隔作用影响,其东北-西南向的负相关明显。进一步分析表明,“通道-阻隔”作用对植被指数空间分异的影响,与区域尺度相关:在距离 < 100 km 的范围内,植被指数在各个方向都呈正相关,空间相关性有快速下降的趋势;距离在 100~200 km 范围内,除东北-西南向外,植被指数随距离增加成正相关,但空间相关性减小;距离 > 200 km 以后,植被指数在各个方向上的空间自相关存在很大差异:植被指数在东北-西南方向呈负相关,且随距离增加 Moran's I 系数快速下降;植被指数在西北-东南方向上呈正相关,且随距离增加 Moran's I 系数逐渐接近 0 植被指数在南-北、全局和东-西向呈负相关,负相关程度依次为东-西向 > 全局 > 南-北向。

2.3.2 植被指数空间变异特征

通过式 (3) 在 GS^+ 7.0 软件中,计算植被指数的半变异函数,应用理论模型进行拟合(如图 7a)。分析结果表明:球状模型拟合较好,其决定系数 $r^2 = 0.969$ 其中变程 (a) 为 500 km,块金值 (C_0) 为 168,基台值 ($C_0 + C$) 为 535。变程 (a) 用于度量变量的空间自相关范围的大小,红河流域植被指数的变程为 500 km,说明植被指数的空间变异尺度较大。 $C_0/(C_0 + C)$ 表示随机部分引起的空间变异占系统总变异的比,若比率 $C_0/(C_0 + C)$ 较高,表示随机部分在引起空间异质性程度中起主要作用,反之,结构性因素起主导作用^[14]。红河流域植被指数的 $C_0/(C_0 + C)$ 为 0.314,说明 NDVI 因随机成分引起的空间变异占 31.4%,结构性变异占 68.6%,结构

性因素引起的空间变异起主导因素。由此可见,红河流域植被指数分布总体上受地形、水热分布格局等因素的结构性影响,但是在各个方向存在差异。

分形维数 D 的几何意义是度量空间异质程度,与 $C_0/(C_0 + C)$ 从不同侧面表征变量的空间分布特征^[25]。 D 值越小,植被参数值差异越大,均匀性程度越差;反之亦然。植被指数分维数的计算结果如图 7b),从图 7b 得知:红河流域植被指数的分维数在 1.607~1.912 之间,各方向分维数从小到大依次为:西南-东北 (1.607) < 东-西 (1.774) < 全局 (1.836) < 南-北 (1.871) < 西北-东南 (1.912)。西南-东北向和东西向的植被指数分维数较低,说明随机部分引起的植被指数空间分异较小,而结构性变异较大。由于西北-东南走向的哀牢山的阻隔作用,水热条件分布在哀牢山东西两侧差异明显,表现出西侧降水 and 气温高于东侧地区的分布格局。因此在哀牢山的阻隔作用下,东北-西南向和东西向的植被指数表现出相应的结构性变异特征。西北-东南向和南-北向的植被指数分维数较高,说明结构性因素引起的植被指数空间分异较小。红河流域分布有西北-东南走向的河谷如元江河谷、李仙江河谷,河谷具有增温作用并形成水气通道增加了河谷地区的降水,加之近似西北-东南向的地形有利于植被的分布,因此植被指数在西北-东南走向和南北向的空间差异较小,均匀性程度比较好。

3 结论

1. 植被指数在不同方向的空间自相关程度差异明显,植被指数分布总体上受地形、水热分布格局

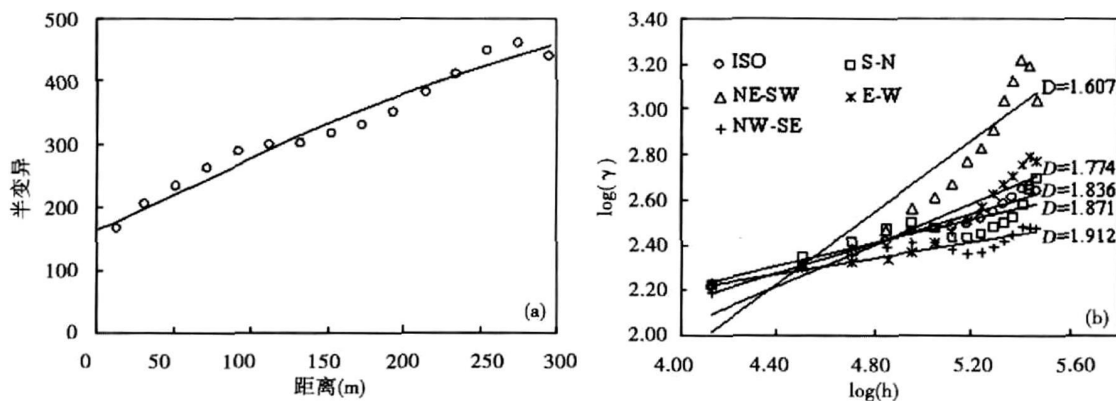


图 7 红河流域植被指数变异函数模型拟合 (a) 和各向分维数 (b)

Fig. 7 The model simulation of semivariance (a) and fractal of different direction of vegetation parameter in Red River Basin (b)

等因素的结构性影响,但在各个方向存在差异:在哀牢山的阻隔作用下,西南-东北向和东西向的植被指数分维数较低,随机部分引起的植被指数空间分异较小,而结构性变异较大;在河谷的通道作用下,西北-东南向和南-北向的植被指数分维数较高,均匀性程度较好。

2. 红河流域植被对温度和降水变化的响应具有“时滞效应”,滞后时间属于 30~165 d, NDVI 对降水变化的响应在时间上先于对温度变化的响应;在河谷和山脉的“通道-阻隔”作用下,植被对温度和降水变化的滞后时间和敏感程度有明显的空间差异。

3. 红河流域 NDVI 总体上没有明显的增加趋势,但存在区域差异性和空间异质性:年 NDVI 有增加趋势的占了流域面积的 66.77%,有下降趋势的占 33.23%;年 NDVI 变化率在 -15.23%~23.16% 之间。

参考文献 (References)

- [1] Sun Hongyu, Wang Changyao, Niu Zheng, et al. Analysis of the vegetation cover change and the relationship between NDVI and environmental factors by using NOAA time series data [J]. *Journal of Remote Sensing*, 1998, 2(3): 204~210 [孙红雨, 王常耀, 牛铮, 等. 中国植被覆盖变化及其与气候因子关系—基于 NOAA 时间序列数据 [J]. 遥感学报, 1998, 2(3): 204~210]
- [2] Kawabata A, Ichii K, Yanaguchi Y. Global monitoring of international changes in vegetation activities using NDVI and its relationships to temperature and precipitation [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22(7): 1377~1382
- [3] Zhou LM, Tucker C J, Kaufmann R K, et al. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999 [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2001, 106 (D7): 20069~20083
- [4] Myneni R B, Keeling C D, Tucker C J, et al. Increased plant growth in northern high latitudes from 1981~1991 [J]. *Nature*, 1997, 386: 698~702
- [5] Fang Jingyun, Piao Shilong, He Jinsheng, et al. Increasing terrestrial vegetation activities in China 1982~1999 [J]. *Science in China (Series C)*, 2003, 33(6): 554~565 [方精云, 朴世龙, 贺金生, 等. 近 20 年中国植被活动在增强 [J]. 中国科学 C 辑, 2003, 33(6): 554~565]
- [6] Piao Shilong, Fang Jingyun. Dynamic vegetation cover change over the last 18 years in China [J]. *Quaternary Sciences*, 2001, 21(4): 294~302 [朴世龙, 方精云. 最近 18 年来中国植被覆盖的动态变化 [J]. 第四纪研究, 2001, 21(4): 294~302]
- [7] Liang Shihai, Chen Jiang, Jin Xiaomei, et al. Regularity of vegetation coverage changes in the Tibetan Plateau over the last 21 years [J]. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(1): 33~40 [梁四海, 陈江, 金晓媚, 等. 近 21 年青藏高原植被覆盖变化规律 [J]. 地球科学进展, 2007, 22(1): 33~40]
- [8] Meng Jijun, Wang Jun. The response of vegetation dynamics to climate change in the southwestern karst region of China since the early 1980s [J]. *Geographical Research*, 2007, 26(5): 857~865 [蒙吉军, 王钧. 20 世纪 80 年代以来西南喀斯特地区植被变化对气候变化的响应 [J]. 地理研究, 2007, 26(5): 857~865]
- [9] Gong Daoyi, Shi Peijun, He Xuezhao. Spatial features of coupling between Spring NDVI and temperature over Northern Hemisphere [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(5): 505~514 [龚道溢, 史培军, 何学兆. 北半球春季植被 NDVI 对温度变化响应的区域差异 [J]. 地理学报, 2002, 57(5): 505~514]
- [10] Li Bengang, Tao Shu. Correlation between AVHRR NDVI and climate factors [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5): 898~902 [李本纲, 陶澍. AVHRR NDVI 与气候因子的相关分析. 生态学报, 2000, 20(5): 898~902]
- [11] Chen Yunhao, Li Xiaobing, Shi Peijun. Variation in NDVI driven 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 NDVI 变化的气候因子驱动分析 [J]. 植物生态学报, 2001, 25(6): 716~720]
- [12] Li Xiaobing, Shi Peijun. Sensitivity analysis of variation in NDVI temperature and precipitation in typical vegetation types across China [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(3): 379~382 [李晓兵, 史培军. 中国典型植被类型 NDVI 动态变化与气温、降水变化的敏感性分析 [J]. 植物生态学报, 2000, 24(3): 379~382]
- [13] Bao Yajing, Song Guobao, Li Zhenghai, et al. Study on the spatial differences and its time lag effect on climate factors of the vegetation in the Longitudinal Range-Gorge Region [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(suppl 2): 42~49
- [14] He Daming, Wu Shaohong, Peng Hua, et al. A study of ecosystem changes in Longitudinal Range-Gorge Region and transboundary eco-security in southwest China [J]. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(3): 338~344 [何大明, 吴绍洪, 彭华, 等. 纵向岭谷区生态系统变化及西南跨境生态安全研究 [J]. 地球科学进展, 2005, 20(3): 338~344]
- [15] Wu Shaohong, Dai Erfu, He Daming. Major research perspectives on environmental and developmental issues for the Longitudinal Range-Gorge Region (LRGR) in southwestern China [J]. *Progress in Geography*, 2005, 24(1): 31~40 [吴绍洪, 戴尔阜, 何大明. 我国西南纵向岭谷区环境与发展问题初步研究 [J]. 地理科学进展, 2005, 24(1): 31~40]
- [16] Li Yungang, He Daming, Ye Changqing. The spatial and temporal variation of runoff of Red River Basin in Yunnan [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2008, 18(3): 308~318
- [17] Zhou Changhai, Wu Shaohong, Dai Erfu, et al. Vapor corridor phenomenon and response of NPP in Longitudinal Range-Gorge Region [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 21(suppl 2): 81~89 [周长海, 吴绍洪, 戴尔阜, 等. 纵向岭谷区水汽通道作用及植被生产力响应 [J]. 科学通报, 2006, 21(增刊 2): 81~89]

- [18] Hao Chengyuan, Dai Erpu, Wu Shaohong *et al* Research on the barrier function and spatio-temporal heterogeneity of vegetation in southern Longitudinal Range-Gorge Region [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 21(suppl 2): 120 ~ 128 [郝成元, 戴尔阜, 吴绍洪, 等. 纵向岭谷区南部“阻隔”作用及植被时空异质性研究 [J]. 科学通报, 2006, 21(增刊 2): 120 ~ 128]
- [19] Tucker C J Pinzon J E Brown M E, *et al* An extended AVHRR 8 km NDVI data set compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2005, 26 (20): 4485 ~ 4498
- [20] Yang Jianping Ding Yongjian Chen Rensheng NDVI reflection of alpine vegetation changes in the source regions of the Yangtze and Yellow River [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(3): 467 ~ 478 [杨建平, 丁永建, 陈仁升. 长江黄河源区高寒植被变化的 NDVI 纪录 [J]. 地理学报, 2005, 60(3): 467~ 478]
- [21] Cliff A D, Ord J K. *Spatial Processes Models and Applications* [M]. London: Pion, 1981: 266
- [22] Dai Eefu, Wu Shaohong Li Shuangcheng *et al* Spatial variability on vegetation parameters in Longitudinal Range-Gorge Region [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(suppl 2): 1 ~ 8
- [23] Wang Zhengquan *Geostatistics and Its Application in Ecology* [M]. Beijing: Science in China Press, 1999, 35 ~ 142 [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, 35 ~ 142]
- [24] Palmer M W. Fractal geometry: a tool for describing spatial patterns of plant communities [J]. *Plant Ecology*, 1988, 75: 91 ~ 102
- [25] Li Xiaoyan, Zhang Shuwen, Wang Zongming *et al* Spatial variability and pattern analysis of soil properties in Dehui City of Jilin Province [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(6): 989 ~ 997 [李晓燕, 张树文, 王宗明, 等. 吉林省德惠市土壤特征空间变异特征与格局 [J]. 地理学报, 2004, 59(6): 989 ~ 997]

The Spatial and Temporal Variation of NDVI and Its Relationships to the Climatic Factors in Red River Basin

LI Yungang HE Daming

(Asian International Rivers Center, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract This paper studies the ecological effects of the “corridor-barrier” function of valleys and mountains to the spatial-temporal variation of NDVI and its relationships to the climatic factors in the Red River Basin by using GIS and Geostatistics methods based on the GMMS data set from 1981~ 2006, SPOT VEG data in 2006 and the daily rainfall and temperature data of 42 meteorological stations in the basin from 1981~ 2001. The results show that (1) The spatial autocorrelation degree of the vegetation index are significant variability in different direction, in generally, the distribution of the vegetation index are structurally influenced by the factors such as topography and the pattern of water and heat distribution, but the variability are found in different direction under the “barrier” function of Ailaomountains, the Fractal dimension of the vegetation index in southwest-northeast and east-west direction are low, which means the spatial variability of vegetation index caused by random variability is less than that by structural variability. Under the “corridor” function of valleys, the Fractal dimension of the vegetation index in northwest-southeast and south-north direction are high, which means the spatial distribution of vegetation index is relative uniformity. (2) There exists the time lag effect that NDVI response to the rainfall and temperature changes, the range of the lag time is between 15~ 165 days, the NDVI response to the rainfall is faster than that to the temperature, under the “corridor-barrier” function of the valleys and mountains, the lag time and sensitivities of vegetation response to the temperature and rainfall has obviously spatial differences. (3) The vegetation of the Red River Basin does not have significant increased trends, but regional difference and spatial heterogeneity are obviously. 66.77% of whole regional vegetation increased while 33.23% of that decreased, the change rate of annual NDVI is between -15.23% ~ 23.16%.

Key words NDVI; climatic factors; corridor-barrier function; Red River Basin; Longitudinal Range-Gorge Region