

## 陕北黄土丘陵沟壑区NDVI与气象因子的相关性分析

赵文武<sup>1</sup>, 吕一河<sup>2</sup>, 郭雯雯<sup>1</sup>, 徐广才<sup>1</sup>

(1. 北京师范大学资源学院 资源管理研究所教育部环境演变与自然灾害重点实验室, 北京 100875;

2. 中国科学院生态环境研究中心系统生态重点实验室, 北京 100085)

**摘要:** 基于逐旬NDVI数据和逐日气象数据, 以陕北延安市为例, 分析了降雨、温度、相对湿度、风速、日照时数等气象因子和NDVI的相关关系。研究结果表明, 前10日的降雨、温度能够影响NDVI的变化, 同时, NDVI的变化也能够对空气的相对湿度产生影响; NDVI与风速和日照时数的相关性较差。所拟合的NDVI与主要气象因子的关系模型中, NDVI与降雨量的模型拟合优度最低, 而与温度的模型拟合优度最高。

**关键词:** NDVI; 气候因子; 相关系数

**中图分类号:** S718.5; Q948.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2006)02-0112-03

## The Correlations Between Climatic Factors and NDVI in Hilly and Gully Area of Loess Plateau in Northern Shaanxi

ZHAO Wen-wu<sup>1</sup>, LV Yi-he<sup>2</sup>, GUO Wen-wen<sup>1</sup>, XU Guang-cai<sup>1</sup>

(1. Institute of Resources Management, College of Resources Science and Technology, Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster of Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Key Laboratory of System Ecology, Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS, Beijing 100085, China)

**Abstract:** The analysis of climate factors and NDVI is a hot issue in land use and land cover change. Take Yan'an as a case study, the correlations between NDVI and climatic factors in hilly and gully area of Loess Plateau in northern Shaanxi were discussed. NDVI was extracted from ten-day SPOT image, and climate data included daily rainfall, daily temperature, daily relative moisture, daily wind speed, and daily hours of sunshine. The research results indicated that the former 10 days' rainfall and temperature affected NDVI change and the higher NDVI lead to increase of relative moisture in the subsequent 10 days. NDVI had bad correlations with wind speed and hours of sunshine. The fitting models of NDVI and climatic factors were built also. The better regression equations were the NDVI-temperature model and NDVI-moisture model, the worse model was the NDVI-rainfall model.

**Key words:** NDVI; climatic factors; correlations

植被是土地覆被的最主要组成部分<sup>[1]</sup>, 探讨植被和气候的关系研究不仅是土地利用/土地覆被变化研究的主要内容, 也是全球变化研究的重要方面<sup>[2]</sup>。归一化植被指数(NDVI)作为反映植被生长状况的重要指标, 在分析植被(或土地覆被)动态及其与环境因子的相互关系研究中得到了广泛的应用<sup>[3,4,5]</sup>。目前, 我国学者在探讨NDVI与气候因子的相关性分析中, 已经取得了一系列研究成果<sup>[2,6,7]</sup>, 探讨了不同区域NDVI的变化机制。但是在已有的研究中, 尚未见到以黄土丘陵沟壑区为对象所开展的相关研究。黄土丘陵沟壑区是我国乃至全球水土流失最为严重的地区之一<sup>[8]</sup>, 植被和降雨是影响该区域水土流失的重要因素, 针对该区域分析NDVI与气候因子的关系不仅有助于深入理解典型脆弱生态区土地覆被变化与气候因子的作用机制, 而且也能够为进一步开展该区域的水土流失与治理研究等提供有益支撑。

### 1 资料与方法

#### 1.1 数据来源

本研究选择陕北的延安市作为研究区域。所用的NDVI数据是由比利时VITO研究所基于SPOT卫星影像制作的, 其空间分辨率为1 km × 1 km, 时间间隔为每旬一次。研究中选择了延安市1999年1月至2001年12月间的逐旬108个NDVI数据。气象数据为延安市气象站的1999年1月至2001年12月间的逐日数据, 包括日降雨量、日平均气温、日平均相对湿度、日平均风速和日照时数, 所有气象数据均来自中国气象局国家气象中心。

#### 1.2 研究方法

(1) NDVI数据的处理。所获取的NDVI数据为FDR格式, 基于ENV I4.0将其转为ArcGIS中的GRID格式; 在此基础上, 通过ArcGIS的空间分析功能, 提取延安市1999~2001

收稿日期: 2005-06-28

基金项目: 国家自然科学基金(40501002); 中科院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-421)

作者简介: 赵文武(1976-), 男, 博士, 讲师, 主要从事土地资源管理、土地利用与生态过程、GIS&RS应用方面的研究。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

年间的逐旬 NDVI 最小值、NDVI 最大值、NDVI 平均值和 NDVI 标准差, 并将该数据导入 EXCEL 中, 为进一步分析提供基础。

(2) 气象数据处理。由于研究中所用的 NDVI 数据为每旬一次, 而气象数据为逐日数据, 为了让 NDVI 数据与气象数据相匹配, 在将 NDVI 数据导入 EXCEL 中后, 分别计算提取与 NDVI 数据日期相对应的气象数据, 包括气象数据的当日值、前 10 日平均值和后 10 日平均值。

(3) NDVI 与气象数据的相关性分析。基于 SPSS10, 针对 NDVI 与每个气象因子组成的 108 组样本数据 (每月 3 组, 每年 36 组, 三年共计 108 组), 分别分析 NDVI 与气象因子的相关性。在此基础上, 针对相关系数较高的气象因子, 应用 SPSS 拟合 NDVI 与气象因子关系模型。

## 2 结果与分析

基于 ArcGIS 处理分析 NDVI 数据, 在计算延安市 1999~2001 年间不同时期 NDVI 最小值、最大值、平均值和标准差的基础上, 分析 NDVI 与日降雨量、日平均相对湿度、日平均气温、日平均风速、日照时数的相关性, 其相关系数见表 1。

表 1 NDVI 和主要气象因子的相关性分析

主要气象因子	NDVI 最小值	NDVI 最大值	NDVI 平均值	NDVI 标准差
日降雨量	当日值	0.222(**)	0.15	0.217(**)
	前 10 日平均	0.591(**)	0.490(**)	0.615(**)
	后 10 日平均	0.404(**)	0.450(**)	0.540(**)
日平均相对湿度	当日值	0.297(**)	0.182	0.347(**)
	前 10 日平均	-0.054	-0.201(**)	-0.071
	后 10 日平均	0.689(**)	0.682(**)	0.783(**)
日平均气温	当日值	0.637(**)	0.797(**)	0.750(**)
	前 10 日平均	0.701(**)	0.832(**)	0.816(**)
	后 10 日平均	0.643(**)	0.794(**)	0.750(**)
日平均风速	当日值	0.061	0.17	0.024
	前 10 日平均	-0.002	0.208(**)	0.03
	后 10 日平均	0.025	0.164	-0.012
日照时数	当日值	0.014	0.151	0.085
	前 10 日平均	-0.045	0.018	-0.024
	后 10 日平均	-0.077	0.026	-0.029

注: \*\* 相关系数的显著性水平为 0.01; \* 相关系数的显著性水平为 0.05。

### 2.1 NDVI 和降雨

水分是影响植物生长的重要环境因素之一, 降雨的动态变化能够对 NDVI 产生一定的影响, 但是不同时间段的降雨和 NDVI 相关性的差异也比较明显。由表 1 可以看出, NDVI 平均值与前 10 日降雨平均值相关性较好, 相关系数能够达到 0.6 以上; 与后 10 日降雨平均值的相关性较差, 而与当日降雨量的相关性最差。这说明前一时期的降雨状况能够对植物的生长状况产生明显的影响, 植被 NDVI 会随着前期降雨量的增加而呈现出上升的趋势; 但是植被的变化对降雨的影响却并不显著。此外, 当日的降雨量虽然能够对植物的生长产生一定的作用, 但是由于植物生长需要一定的时间, 当日的降雨量很难和 NDVI 呈现出较好的相关性。

NDVI 的最大值、最小值和降雨因子的相关性反映的是研究区域内特定植被类型和降雨量的关系, 它们相关系数的差异说明对于特定的植被而言, 也同样表现为前期降雨能够对植物生长产生一定的影响。NDVI 标准差和降雨量相关性很差, 是由于 NDVI 标准差反映的是 NDVI 在空间上的空间变异, 而这种空间变异往往是由于植被类型差异所引起的, 降雨对 NDVI 的这种空间变异影响较小。此外, 降雨量和 NDVI 相关性整体上比较低, 也和延安地区的降雨季节分布

不均, 在夏季多短历时高强度暴雨有关。

### 2.2 NDVI 和相对湿度

植被生长的动态变化能够影响小气候, 对空气中的湿度产生影响。一般而言, 植被生长茂盛, 植株的叶面积指数较高, 其呼吸作用和水循环就比较活跃, 空气中的相对湿度则比较高。在对延安市 NDVI 和空气相对湿度的分析中发现, 当日平均相对湿度、前 10 日平均相对湿度和 NDVI 平均值的相关性都比较差, 而后 10 日平均相对湿度和 NDVI 平均值表现出较好的相关性 (表 1)。这种结果说明, 空气的相对湿度虽然很难对植被产生影响, 但是却能够随着 NDVI 的增加, 而呈现出明显的增加趋势。植被的生长状况能够显著改善空气的相对湿度, 但是这种影响具有一定的滞后性特征。

NDVI 最小值、NDVI 最大值和后 10 日平均相对湿度的相关性也不错, 但是他们的相关系数低于 NDVI 平均值与后 10 日平均相对湿度相关系数, 反应了不同植被类型对空气的相对湿度的影响作用是不同的, 但是空气相对湿度的变化状况取决于研究区域植被生长状况的整体水平。

NDVI 标准差和相对湿度的相关性最差, 是由于 NDVI 的标准差在很大程度上取决于植被类型的空间变异, 而这种空间变异特征难以对相对湿度产生影响。

### 2.3 NDVI 和日平均气温

温度是影响植被生长状况的重要因素, 植被的动态变化也能够对局域温度产生一定的影响。分析日平均气温和 NDVI 的相关性中可以发现, 日平均气温的当日值、前 10 日平均、后 10 日平均和 NDVI 的各项统计数据相关性都很好, 相关系数均在 0.6 以上 (表 1)。其中, 前 10 日的平均温度和 NDVI 相关性高于当日值, 后 10 日平均值与 NDVI 的相关性, 其相关系数部分达到 0.8 以上。这种现象表明前期的温度变化能够明显影响到植被的生长动态, 进而影响到 NDVI 的变化。同时, 由于温度在 20 d 的时间段内, 其变化的幅度往往不是太大, 后 10 天的温度也和 NDVI 表现出了较好的相关性。

NDVI 最大值与温度的相关系数高于 NDVI 平均值、NDVI 最小值与温度的相关系数, 这种现象说明不同植被类型对温度变化的响应程度是不相同的。其原因可能是由于 NDVI 较高的植被类型 (如森林) 受自然因素的影响的比重较多, 而 NDVI 较低的植被类型 (如农田等) 不仅受到自然因素的影响, 还受到人为因素的干扰, 如耕作与管理措施等。NDVI 标准差与气温的相关系数也很高, 这也验证了温度对不同植被类型的影响程度是不同的, 随着温度的升高, 不同植被类型 NDVI 的差异也将更加明显。

### 2.4 NDVI 和其它气象因子

研究中还分析了 NDVI 和日平均风速、日照时数的关系, 发现风速、日照和 NDVI 的相关性均不好, 相关系数都在 0.4 或者 0.3 以下 (表 1)。其中, 风速和 NDVI 的相关性略高于日照时数和 NDVI 的相关性。在风速和 NDVI 的相关系数中, NDVI 标准差和日平均风速的相关性略高, 这或许说明植被生长尤其是类型的空间变异能够对区域风速的变化起到一定的影响。日照时数与 NDVI 的相关性不好, 可能与研究中的时空尺度有关, 假设在全国甚至全球尺度上, 日照时数的空间变异可能会影响到不同区域植被 NDVI 的变化。

### 2.5 NDVI 与气象因子的关系模型

根据 NDVI 与气象因子的相关程度及其相互作用关系, 分别拟合日降雨量、日平均相对湿度、日平均气温和 NDVI 的关系模型。其中, 在日降雨量和 NDVI 的关系模型中, 考虑到降雨变化是 NDVI 增加的主要影响因素之一, 将前 10 日

平均降雨量设为自变量,将NDVI平均值设为因变量。在日平均相对湿度和NDVI关系模型中,将NDVI平均值设为自变量,将后10日平均相对湿度设为因变量。在日平均气温和NDVI关系模型中,将前10日平均气温设为自变量,将NDVI平均值设为因变量。所选用的曲线模型类型包括直线模型、二次方程、S形曲线等10种模型,并根据模型的拟合优度、显著性水平选择最佳拟合模型,结果见表2。

由表2可以看出,NDVI与降雨、平均相对湿度的关系模型为二次方程,NDVI与平均气温的关系模型为指数方程,同时也可以复合曲线模型等来实现。在模型的拟合优度上,以降雨量和NDVI的关系模型为最低,以温度和NDVI的关系模型为最高。表2中的模型为理解黄土丘陵沟壑区植被与气候因子的关系提供了依据,同时也为深入探讨黄土丘陵沟壑区植被变化的环境效应和区域水土流失治理研究奠定了基础。

表2 NDVI与主要气象因子的关系模型

因变量	自变量	拟合模型	模型类型	拟合优度	显著性水平
NDVI平均值	前10日平均降雨量/mm	$y = 72.8592 + 22.7157x - 1.8119x^2$	二次方程	0.458	< 0.0001
	后10日平均相对湿度/%	$y = 23.2640 + 0.4821x - 0.0011x^2$	二次方程	0.622	< 0.0001
NDVI平均值	前10日平均气温/°C	$Y = 62.9021e^{0.0282x}$	指数方程	0.701*	< 0.0001

注:在所拟合的模型中,拟合优度为0.701的模型类型还有复合曲线模型、三次方程和等比级数曲线模型

参考文献:

[1] 李秀彬 全球环境变化研究的核心领域- 土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996, 51(6): 553- 558

[2] 张元东, 徐应涛, 顾峰雪, 等 荒漠绿洲NDVI与气候、水文因子的相关分析[J]. 植物生态学报, 2003, 27(6): 816- 821

[3] Maselli F, Gilabert M A, Conese C. Integration of High and Low Resolution NDVI Data for Monitoring Vegetation in Mediterranean Environments[J]. Remote Sense Environment, 1998, 63: 208- 218

[4] Lia J, Lewisa J, Rowland J, et al Evaluation of land performance in Senegal using multi-temporal NDVI and rainfall series[J]. Journal of Arid Environments, 2004, 59: 463- 480

[5] 李克让, 陈育峰, 黄枚, 等 气候变化对土地覆被变化的影响及其反馈模型[J]. 地理学报, 2000, 55: 57- 63

[6] 唐海萍, 陈玉福 中国东北样带NDVI的季节变化及其与气候因子的关系[J]. 第四纪研究, 2003, 23(3): 318- 325

[7] 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

[8] Fu B J. Soil erosion and its control in the loess plateau of China[J]. Soil Use and Management, 1989, 5(2): 76- 81

(上接第33页)

5 水费标准拟定

为合理利用水资源,促进计划用水,节约用水,保证竖井排灌工程运行必须的运行管理费、大修理费和设备更新改造费用,以充分发挥经济效益,竖井排灌工程为农业灌溉提供水量必须实行有偿供水。在正常情况下水量出售的收入应能补偿水量的成本消耗。

《办法》中规定,对于粮食作物按成本核订水费标准。其计算公式为: 每m<sup>3</sup>水费= 年供水成本/年均提水量, 则单方水费= 263.48/2000= 0.13元/m<sup>3</sup>。对于经济作物收取水费

参考文献:

[1] SL 256—2000, 机井技术规范[S]. 2000

[2] SD 139—85, 水利经济计算规范[S]. 1986

[3] SL 72—94, 水利建设项目经济评价规范[S]. 1994

[4] 赵东辉 银北灌区竖井排灌工程经济效益分析[J]. 水利经济, 1993, (2): 50- 55

[5] 董新光, 等 新疆阜康市三工河流域机井灌溉工程经济效益分析[J]. 灌溉排水, 1993, 12(4): 30- 33

[6] 叶秉如 水利计算及水资源规划[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995

3 结论与讨论

在陕北延安市的1999~ 2001年间,NDVI与降雨、相对湿度和温度等气象因子具有相关性,但和不同因子相关性的差异比较明显。对于降雨量而言,前10日平均值与NDVI相关性较好,而当日值、后10日平均与NDVI相关性较差,前期降雨能够对植被的生长产生明显影响;对于相对湿度而言,当日值、前10日平均和NDVI的相关性都比较差,而后10日平均和NDVI表现出较好的相关性,植被的生长状况能够显著改善空气的相对湿度,但是这种影响具有一定的滞后性特征;对于温度而言,日平均气温的当日值、前10日平均、后10日平均和NDVI相关性都很好,其中,前10日平均和NDVI相关性较高,前期的温度变化能够影响植被的生长状况。对于日平均风速、日照时数而言,NDVI和它们的相关性都不好。所拟合的NDVI与主要气象因子的关系模型中,NDVI与降雨量的模型拟合优度最低,而与温度的模型拟合优度最高。

本研究采用了时间分辨率比较高的NDVI数据,初步分析了延安市逐旬NDVI变化与气候因子的关系,为分析黄土丘陵沟壑区土地覆被变化与气候因子的关系提供了依据。但是,NDVI与气候因子的关系涉及多种因素,在进一步的研究中还应当继续探讨不同植被类型条件下NDVI与气候因子的关系、不同区域条件下NDVI与气候因子关系的空间分异等。

可略高于0.13元/m<sup>3</sup>。

6 结论及建议

该竖井排灌工程效益显著,在经济上合理可行。另外,竖井排灌结合,可以有效控制和降低地下水位,减少潜水蒸发,降低土壤返盐,土壤盐渍化将逐步得到治理,逐渐改善农作物生长条件,提高农作物产量,促使灌区生态趋向良性循环。

工程实施后,建议实行地表水、地下水两水统管、统调、统一核订水价和征收水费,加强用水管理,提高水的利用率,以降低灌溉成本。