

文章编号: 1108 - 2786 - (2017) 1 - 9 - 07

DOI: 10.16089/j.cnki.1008 - 2786.000190

西藏自治区植被与气候变化的关系

李磊磊^{1 2} 范建容^{1*} 张茜或^{1 2} 李炫^{1 2}

(1. 中国科学院水利部 成都山地灾害与环境研究所 成都 610041; 2. 中国科学院大学 北京 100049)

摘 要: 气候变化下植被的时空响应是近年来的研究热点。高海拔西藏地区气候独特多变, 研究该区域植被与气候变化的关系具有重要意义。西藏地区的气象站少, 利用站点观测资料插值分析误差相对较大, 难以准确获得空间连续的数据。本文采用 2001 ~ 2013 年 MODIS 卫星 16 天时间序列数据和同期的降雨卫星 TRMM 数据, 利用线性回归和相关性分析法研究西藏地区植被、地表温度和降雨量的时空特征及相关性。研究表明: 在 2001 ~ 2013 年间, 西藏地区植被与地表温度、降雨量在时间波动和空间分布上具有一致性。植被 NDVI 逐年增大, 植被状况逐渐改善, 地表温度总体呈上升趋势, 降雨量整体无明显变化, 三者年际变化率主要集中在 $-0.005 \sim 0.005/a$, $-0.05^\circ\text{C} \sim 0.15^\circ\text{C}/a$, $-30 \sim 40 \text{ mm}/a$ 。近 13 年来植被 NDVI、地表温度和降雨量的变化区域差异性较大, 在西藏中部和东部变化明显。植被 NDVI 的变化与气候变化(尤其是地表温度上升)密切相关, 受降雨明显影响的区域分布在西藏中部, 受地表温度明显影响的区域分布在西藏东部和西部。

关键词: NDVI; 降雨量; 地表温度; 气候变化

中图分类号: TP79; P407

文献标志码: A

植被是全球生态系统的重要组成部分, 是调节陆地土壤、水分、大气的“纽带”, 对维持生态系统平衡有重要作用。青藏高原是全球生态系统的敏感区^[1-2], 气候变化十分明显。气候的变化会对当地生态系统产生强烈的响应^[3]。因此研究占青藏高原主体部分的西藏地区的植被与地表温度、降雨变化特征对研究生态变化有着重要的意义。

遥感以宏观、周期短、多时相、数据综合性强等特点, 已成为研究生态系统变化的重要手段。在此之前, 国内外很多研究深入分析气候变化对植被的影响与反馈, 取得了大量有意义的研究成果^[4-7], 但多数研究均基于气象站的气温和降雨量观测数据作为研究数据^[8-10]。然而, 西藏地区的气象站少, 气

象站主要集中在西藏东南部, 西北地区气象站相对更少。气象资料的匮乏导致利用站点观测资料插值分析误差相对较大, 难以准确获得空间连续的数据。遥感气象数据在气象站观测数据缺乏的地区具有较强的优越性。鉴于此, 本文借助遥感数据, 以西藏自治区为研究区, 从时间和空间上讨论 2001 ~ 2013 年植被与地表温度、降雨量的格局分布、变化规律以及相关程度等。

1 资料与方法

1.1 资料

植被指数选取空间分辨率为 1 km, 时间分辨率

收稿日期(Received): 2014 - 11 - 28; 改回日期(Accepted): 2015 - 03 - 28。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金国际合作与交流重点项目(41520104002); 数字制图与国土信息应用工程重点实验室开放基金课题(DM2016SC09) [Key Project of International Cooperation and Exchanges, NSFC (41520104002); Key Laboratory of Digital Mapping and Land Information Application of National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation (DM2016SC09)]

作者简介(Biography): 李磊磊(1989 -), 男, 河南信阳人, 硕士研究生, 研究方向为 GIS 与遥感应用 [Li Leilei (1988 -), male, born in Xining, Henan Province, M. Sc. candidate, research on GIS and RS application] E-mail: lljdx@163.com

* 通信作者(Corresponding author): 范建容(1969 -), 女, 四川井研人, 研究员, 博士生导师, 主要从事山地环境遥感与地理信息系统研究 [Fan Jianrong (1969 -), female, born in Jingyan, Sichuan Province, Professor, Ph. D supervisor, research on mountain environment remote sensing and GIS] E-mail: fjr@imde.ac.cn

为 16 天的 MOD13A2 数据。地表温度选取空间分辨率为 1 km, 时间分辨率为 8 天的 MOD11A2 数据^[11]。由于 TRMM 降雨量数据在西藏地区与气象站观测数据基本一致, 具有很好的实际应用效果^[12-13]。降雨量选取水平分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$, 时间分辨率为 3h 的 TRMM 3B42 降雨量数据。如图 1 所示, 本文数据集地理范围为 $78^\circ \sim 100^\circ \text{E}$ $26^\circ \sim 37^\circ \text{N}$, 时间范围为 2001 年 1 月 1 日至 2014 年 1 月 1 日。

1.2 研究方法

1.2.1 时间序列的确定

MOD13A2、MOD11A2 数据处理过程: 格式/投影转换、单位变换, 区域裁剪等步骤。本文 MOD13A1、MOD11A2 产品均采用 MRT 软件进行图幅拼接且投影为 WGS84 坐标系, 采用 ENVI 软件将输入产品单位转换、裁剪至研究区。

MOD11A2 是 8 天合成的地表温度产品。该产品中 LST 是通过建立 31、32 通道亮度线性组合的分裂窗口算法计算获得。平均地表温度是由相应时间内的白天、夜晚值平均所得。由于 MVC 最大值合成法可消除云、大气和太阳高度角等部分干扰, 本文将时间分辨率为 8 天 MOD11A2 采用 MVC 最大值法合成 16 天数据, 形成与 MOD13A2 一致的时间序列。

TRMM 3B42 降雨量数据是 3 小时的数据。本文将时间分辨率为 3 小时的数据合成为 16 天降雨

量数据, 形成与 MOD11A2、MOD13A2 相同的时间序列。

1.2.2 空间年变化率分析

在 MATLAB 和 ArcGIS 软件支持下, 本文采用线性回归分析法, 逐像元对研究区 2001~2013 年的年均 NDVI(年均地表温度、年降雨量) 与年份之间进行直线回归, 计算回归直线斜率。单个像元在线性回归方程中的斜率即为此因素在该像元位置的年变化率。

$$X_i = a + bt_i \quad (1)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i t_i - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n t_i)}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n t_i)^2} \quad (2)$$

其中 X_i 为 NDVI(地表温度或者降雨量) t_i 为 X_i 所对应的时间。该公式表示 X_i 与相应 t_i 的一元线性回归方程, 其中 a 为常数, b 为斜率。 b 采用最小二乘法计算, 如公式(2)所示。 $b > 0$, 说明随时间 t_i 的增加 X_i 呈上升趋势; $b < 0$, 说明随时间 t_i 的增加 X_i 呈下降趋势。

1.2.3 空间相关性分析

相关系数是衡量变量之间线性相关程度的指标。样本相关系数用 r_{xy} 表示, 相关系数 r_{xy} 的取值范围为 $[-1, 1]$, 绝对值 r_{xy} 越大, 变量之间的线性相关程度越高; 绝对值 r_{xy} 越接近 0, 变量之间的线性相关程度越低。本文通过植被 NDVI 与地表温度、降雨量的线性相关系数衡量植被与地表温度、降雨量的

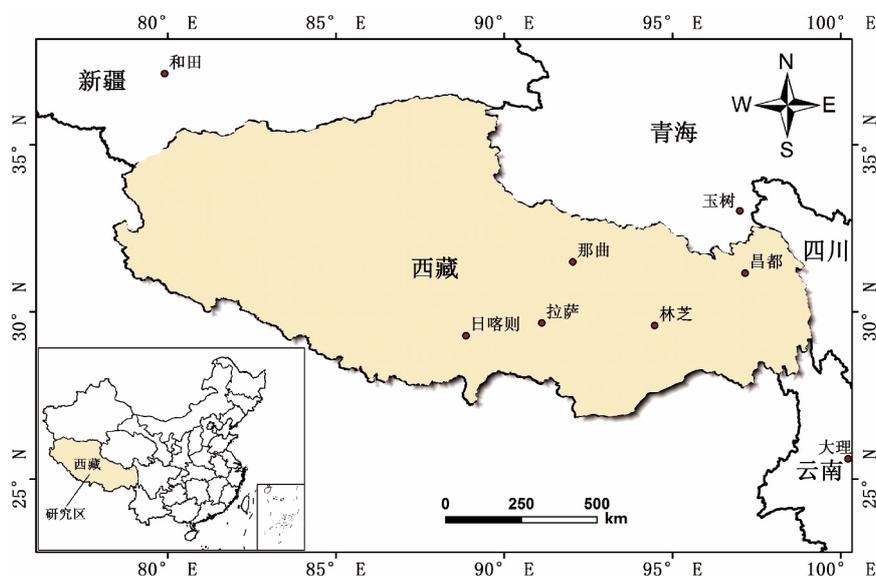


图 1 西藏研究区地理位置

Fig. 1 Location of Tibet region

作用关系。

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3)$$

其中 X_i 为自变量的标志值, Y_i 为因变量; \bar{X}, \bar{Y} 为各自变量的平均值。

一般情况下, 相关系数的检验是在给定的置信水平下, 通过查相关系数检验的临界值表来完成的(表 1)。当相关系数 > 临界值时, 则认为两要素在该置信水平下显著相关。

表 1 $F = 11$ 的相关系数检验临界值表

Tab. 1 Critical value of correlation coefficient verification while F equals 11

p	0.1	0.05	0.01
	0.476	0.553	0.684

n 为样本数, 值为 13; F 为自由度, 数值为 $n - 2$; p 代表不同的置信水平; 表内数值代表不同置信水平下显著相关的临界值。本文为研究植被 NDVI 与降雨、地表温度之间的相关性, 对 2001 ~ 2013 年的年均 NDVI、年均地表温度和年降雨量遥感影像中不同年份同一位置的像元, 在 MATLAB 中利用相关性公式计算相关系数, 并对结果进行 $p = 0.05$ 置信检验。

2 结果与分析

2.1 地表温度、降雨量、植被的时空特征

2.1.1 时间变化特征

本文对 2001 ~ 2013 年间 16 天地表温度时间序列进行白天、夜晚和平均地表温度的统计, 分析其时间变化特征。西藏自治区白天地表温度在 $-4.3^{\circ}\text{C} \sim 27.9^{\circ}\text{C}$, 夜晚地表温度在 $-21.9^{\circ}\text{C} \sim 2.6^{\circ}\text{C}$ 。如图 2 平均地表温度在 $-13.1^{\circ}\text{C} \sim 14.2^{\circ}\text{C}$, 一月份最低, 七月份最高, 整体逐年呈上升趋势。

本文对 2001 ~ 2013 年间 16 天降雨量时间序列进行统计, 分析其降雨量的时间变化特征。如图 3 所示, 西藏地区的降雨主要集中在每年的七、八月份。其中 2011 年降雨量最大, 16 天降雨量峰值达到 99.5 mm, 降雨整体无明显变化趋势。

本文对 2001 ~ 2013 年间 16 天 NDVI 时间序列进行统计, 分析其 NDVI 的时间变化特征。如图 4 所示, 西藏整个地区 16 天 NDVI 集中在 0.09 ~ 0.29

之间; 七八月份 NDVI 达到最大值, 一月份 NDVI 最低, NDVI 整体呈上升趋势。

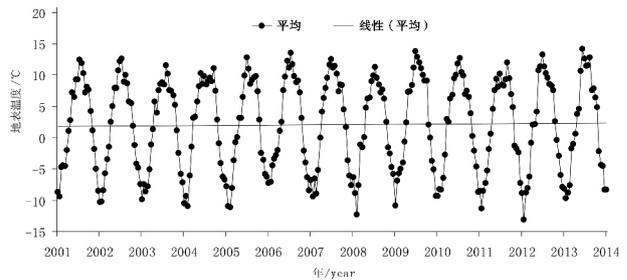


图 2 地表温度时间序列

Fig. 2 Time sequence curve of land surface temperature

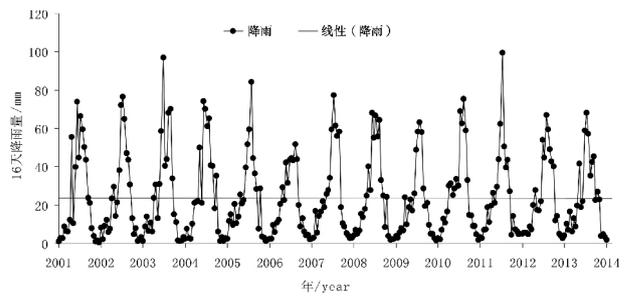


图 3 降雨量时间序列

Fig. 3 Time sequence curve of rainfall

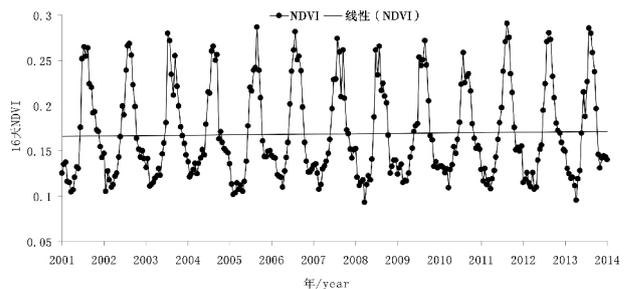


图 4 NDVI 时间序列

Fig. 4 Time sequence curve of NDVI

通过图 2、图 3 和图 4 的 NDVI、地表温度和降雨量的时间序列可知: 地表温度和降雨量增大的时间段内, NDVI 也逐渐增大, 三者的波峰波谷具有明显的时间一致性。这也表明西藏地区植被与地表温度、降雨量从时间变化上均呈正相关。

2.1.2 空间变化特征

如图 5(a) 所示, 年均 NDVI 从东南向西北递减, 数值范围在 7% ~ 99% 之间, 局部地区有差异。如图 5(c) 所示, 西藏不同区域地表温度差异大, 整体从东南向西北递减。如图 5(e) 所示不同区域的

降雨量分布有差异,年降雨量在 76 ~ 3232 mm 之间,从西北向东南递增。如以上三幅图所示,降雨量少、地表温度低的西藏西北地区,往往不利于植被的生长,植被 NDVI 较低。降雨量丰富、地表温度适中的西藏东南地区,植被茂盛,植被 NDVI 较高。植被 NDVI 受地表温度和降雨量的影响很大,与二者在空间分布上具有较好的一致性。

如图 5(b)、5(d) 和 5(f) 所示,2001 ~ 2013 年植被 NDVI、地表温度和年降雨量的变化均存在明显的区域差异性。整个研究区内,植被 NDVI 整体呈增长趋势,NDVI 年变化率集中在 $-0.005 \sim 0.005$; 地表温度整体呈增长趋势,地表温度年变化率集中在 $-0.05^{\circ}\text{C} \sim 0.15^{\circ}\text{C}$; 年降雨量整体呈增长趋势,年变化率集中在 $-30 \sim 40 \text{ mm}$ 。

从区域上看,近 13 年西藏东部地区降雨量和地

表温度年变化率为负,呈下降趋势;在该区域 NDVI 年变化率为负,呈下降趋势。在西藏中部地区,年降雨量略下降,但地表温度以 $0.2^{\circ}\text{C} \sim 0.6^{\circ}\text{C}$ 的年变化率显著升高,在该区域 NDVI 明显上升。在西藏西部地区,降雨量年变化率为正,总体呈上升趋势;地表温度年变化率为正,总体呈现增长趋势;在该区域 NDVI 虽变化不明显但总体呈增长趋势。

2.2 地表温度、降雨量、植被 NDVI 的空间相关性特征

植被生长变化是土壤、地形、气候等多种生态因素综合作用所形成的结果。其中土壤和地形在一定的时间内不会发生明显变化;植物所需要的光、热和水分很大程度上由温度和降雨量所决定。年均 NDVI 与年降雨量、年均地表温度的相关系数统计和空间分布如表 2、表 3 和图 6 所示。

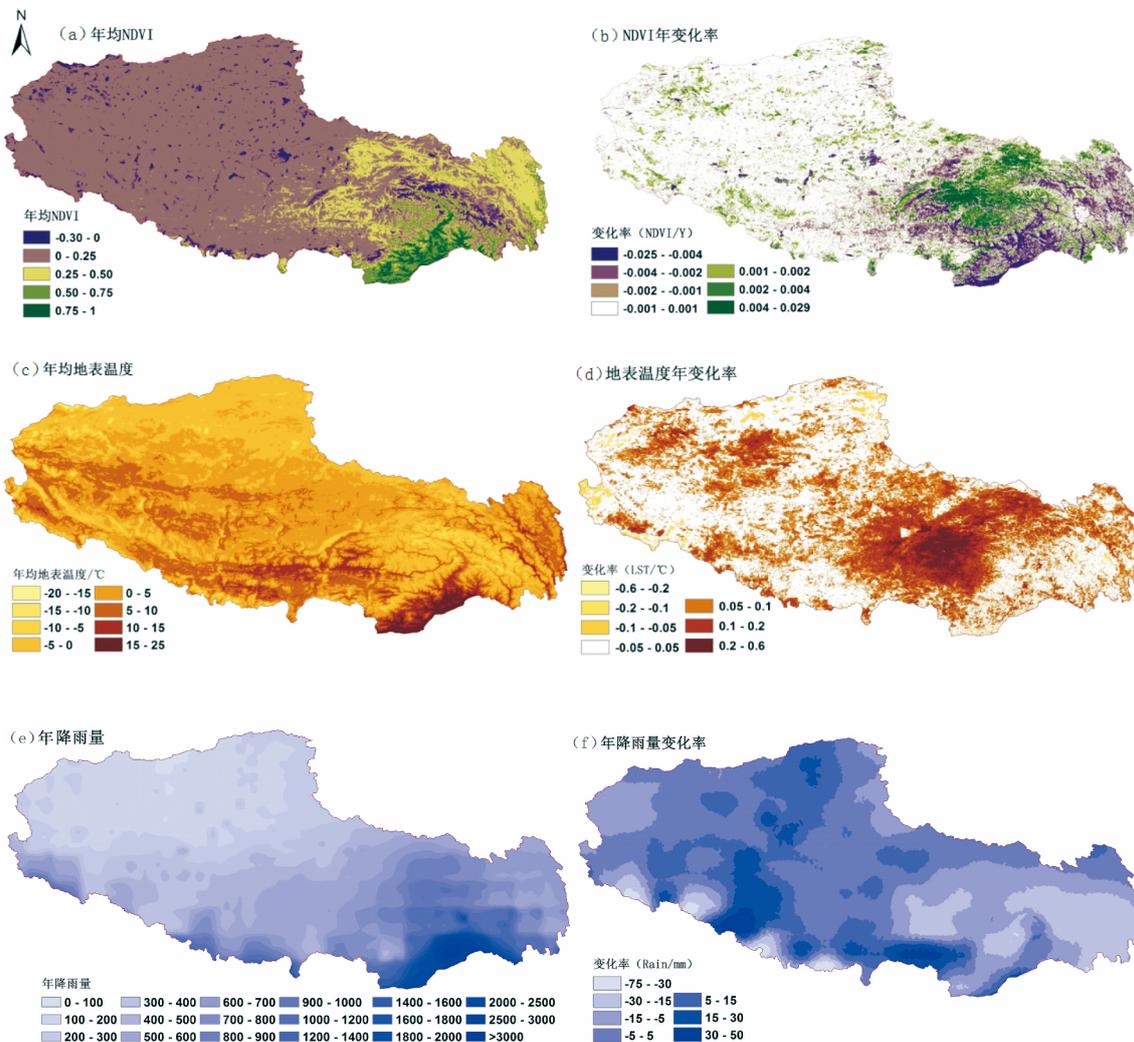


图 5 NDIV、地表温度和降雨量空间分布及变化特征

Fig. 5 Spatial distribution and change characteristics of NDVI, land surface temperature and rainfall

表 2 植被 NDVI 与年地表温度相关性比例

Tab. 2 Ratio correlation between NDVI and LST

相关性	范围	比例/%
高度负相关	-1.0 ~ -0.50	6.48
低度负相关	-0.50 ~ -0.25	8.82
弱相关	-0.25 ~ 0.25	26.26
低度正相关	0.25 ~ 0.50	19.36
高度正相关	0.50 ~ 1.0	39.08

表 3 植被 NDVI 与年降雨量相关性比例

Tab. 3 Ratio correlation between NDVI and rainfall

相关性	范围	比例/%
高度负相关	-1.0 ~ -0.50	11.12
低度负相关	-0.50 ~ -0.25	17.43
弱相关	-0.25 ~ 0.25	46.5
低度正相关	0.25 ~ 0.50	16.5
高度正相关	0.50 ~ 1.0	8.45

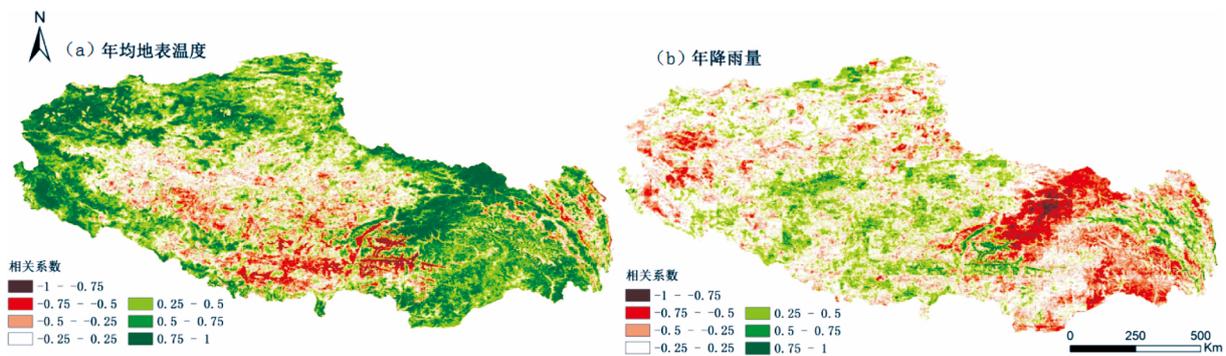


图 6 2001 ~ 2013 年植被 NDVI 与气候因子的相关性

Fig. 6 Relationship between NDVI and climate factors from 2001 to 2013

如图 6 (a) 所示,在西藏中部地区,年均地表温度集中在 $0^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$,地表温度与植被 NDVI 的相关系数在 $-0.25 \sim 0.25$ 之间,地表温度对植被的影响不大,呈弱相关。在西藏东部和西部大部分地区,地表温度与植被 NDVI 的相关系数在 $0.5 \sim 1.0$ 之间,通过 $P=0.05$ 显著性检验,二者呈高度正相关。这是由于该区域地表温度偏低,对植被起抑制作用,从而地表温度的上升对植被 NDVI 影响较大。

如图 6 (b) 所示,在西藏中部,年降雨量集中在 $100 \sim 800 \text{ mm}$,降雨量的增加对植被起促进作用,二者通过 $P=0.05$ 显著性检验,呈显著正相关。在西藏东部大部分地区,年降雨量大于 1500 mm ,降雨对植被 NDVI 起促进作用,呈正相关。如表 2 和表 3 所示,植被 NDVI 与地表温度呈高度相关的区域占 45.56% ,植被 NDVI 与降雨量呈高度相关的区域占 19.57% ,这也表明植被 NDVI 受地表温度的影响更加明显。

3 结论

植被 NDVI 是反映植被状况的重要指标。降雨和地表温度是影响研究区植被的主要气候因子。前

人采用多年气象站和遥感数据对该区域分析表明植被 NDVI 呈增长趋势,平均气温整体显著上升趋势,与本文对西藏 NDVI 的时空分布及受气候变化的影响结论基本一致^[14-16]。具体结论如下:

(1) 在空间上,植被 NDVI 在西藏东南部较高,西藏西北部 NDVI 偏低,从西藏西北部到东南部 NDVI 逐渐增加。在西藏中部和西部地区 NDVI 近年变化小,东部地区 NDVI 变化明显,植被 NDVI 整体呈增长趋势。

(2) 降雨和地表温度是影响植被状况的重要因素。近年,降雨和地表温度在西藏中部和东部变化较大,地表温度增幅明显。研究区降雨和地表温度的变化与植被 NDVI 的波动在时间序列和空间分布上基本保持一致。降雨和地表温度的变化对植被 NDVI 影响很大,受降雨明显影响的区域在西藏中部,受地表温度明显影响的区域在西藏东部和西部。

(3) 气候的变化会影响和改变陆生生态系统的结构及功能。本文研究表明,近 13 年来西藏自治区植被逐渐改善,植被 NDVI 的增强与气候变化(尤其是地表温度上升)密切相关。但本文仅考虑了地表温度和降雨对植被的影响,未涉及人类活动、土壤等因素。同时由于遥感资料时间跨度不够长,气候因

子的变化与植被的联系无法完全准确表述,有待于以后研究。

参考文献(References)

- [1] ZHANG Y, WELKER J M. Tibetan alpine tundra responses to simulated changes in climate: aboveground biomass and community responses [J]. *Arctic and Alpine Research*, 1996: 203 - 209
- [2] YAO T, LIU X, Wang N, et al. Amplitude of climatic changes in Qinghai - Tibetan Plateau [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(13): 1236 - 1243
- [3] KLEIN J A, HARTE J, ZHAO X. Experimental warming causes large and rapid species loss, dampened by simulated grazing, on the Tibetan Plateau [J]. *Ecology Letters*, 2004, 7(12): 1170 - 1179
- [4] NICHOLSON S E, DAVENPORT M L, MALO A R. A comparison of the vegetation response to rainfall in the Sahel and East Africa, using normalized difference vegetation index from NOAA AVHRR [J]. *Climatic change*, 1990, 17(2-3): 209 - 241
- [5] RICHARD Y, POCCARD I. A statistical study of NDVI sensitivity to seasonal and interannual rainfall variations in Southern Africa [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(15): 2907 - 2920
- [6] 徐兴奎,林朝晖,薛峰,等. 气象因子与地表植被生长相关性分析[J]. *生态学报*, 2003, 23(2): 221 - 230 [XU X, LIN Z, XUE F, et al. Correlation analysis between meteorological factors and the ratio of vegetation cover[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 23(2): 221 - 230]
- [7] 侯英雨,张佳华,何延波. 利用遥感信息研究西藏地区主要植被年内和年际变化规律[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(11): 1273 - 1276 [HOU Y, ZHANG J, HE Y. Intra - and inter - annual variation patterns of NDVI in Tibet based on AVHRR remote sensing data [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(11): 1273 - 1276]
- [8] 毕晓丽,王辉,葛剑平. 植被归一化指数(NDVI)及气候因子相关起伏型时间序列变化分析[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(2): 284 - 288 [BI X, WANG H, GE J. Wave - type time series variation of the correlation between NDVI and climatic factors [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(2): 284 - 8]
- [9] 马明国,王建,王雪梅. 基于遥感的植被年际变化及其与气候关系研究进展[J]. *遥感学报*, 2006, 10(3): 421 - 431 [MA M, WANG J, WANG X. Advance in the inter - annual variability of vegetation and its relation to climate based on remote sensing [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2006, 10(3): 421 - 431]
- [10] 付新峰,杨胜天,刘昌明. 雅鲁藏布江流域 NDVI 变化与主要气候因子的关系[J]. *地理研究*, 2007, 26(1): 60 - 66 [FU X F, YANG S T, LIU C M. Changes of NDVI and their relations with principal climatic factors in the Yarlung Zangbo River Basin [J]. *Geographical Research*, 2007, 26(1): 60 - 59]
- [11] 周婷婷,陈文惠. 基于 MODIS 数据和气象观测数据的气温空间插值方法比较[J]. *地理科学进展*, 2011, 30(9): 1143 - 1151 [ZHOU T, CHEN W. Comparison of the temperature spatial interpolation methods based on MODIS data and meteorological observation data [J]. *Progress in Geography*, 2011, 30(9): 1143 - 1151]
- [12] 郝振纯,童凯,张磊磊,等. TRMM 降水资料在青藏高原的适用性分析[J]. *水文*, 2011, 31(5): 18 - 23 [HAO Z, TONG K, ZHANG L, et al. Applicability analysis of TRMM precipitation estimates in Tibetan Plateau [J]. *Journal of China Hydrology*, 2011, 31(5): 18 - 23]
- [13] 吕洋,杨胜天,蔡明勇,等. TRMM 卫星降水数据在雅鲁藏布江流域的适用性分析[J]. *自然资源学报*, 2013, 28(8): 1414 - 1425 [YANG L U, YANG S T, CAI M Y, et al. The applicability analysis of TRMM precipitation data in the Yarlung Zangbo River Basin [J]. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(8): 1414 - 1425]
- [14] 朱源,彭光雄,王志,等. 西藏林芝地区近 30a 来的 NDVI 变化趋势研究[J]. *西北林学院学报*, 2011, 26(4): 69 - 74 [ZHU Y, PENG G X, WANG Z, et al. The trend of NDVI during the past 30 years in Linzhi Area, Tibet Autonomous Region [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2011, 26(4): 69 - 74]
- [15] 纪迪. 青藏高原气候变化及其 NDVI 的响应[D]. 南京信息工程大学, 2012 [JI D. Climate change and its influence on NDVI over the Qinghai - Tibet Plateau [D]. *Nanjing University of Information Science & Technology*, 2012]
- [16] 徐宗学,孟翠玲,巩同梁,等. 西藏自治区气温变化趋势分析[J]. *自然资源学报*, 2009, 24(1): 162 - 170 [XU Z X, MENG C L, GONG T L, et al. Long-term trend analysis for air temperature in the Tibetan Region [J]. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(1): 162 - 170]

Relationships between NDVI and Climate Changes in Tibet , China

LI Leilei^{1,2} , FAN Jianrong¹ , ZHANG Xiyu^{1,2} , LI Xuan^{1,2}

(1. *Institute of Mountain Hazards and Environment , Chinese Academy of Sciences , Chengdu , Sichuan 610041 , China;*

2. *University of Chinese Academy of Sciences , Beijing 100049 , China*)

Abstract: Spatial-temporal response of vegetation to climate change has been concerned by scientists for recent years. The climate in Tibet is unique and changeable due to its high altitude. With extremely fragile ecological environment ,Tibet is one of the most sensitive areas to climate change in the global ecosystem. Therefore , it is of great significance to study the relationship between vegetation and climate change in Tibet. However ,the interpolated climate data were not accurate enough owing to sparse meteorological stations in this area. This paper studied the spatial-temporal characteristics and interannual variability of climate factors in Tibet during 2001 to 2013 by MODIS land surface temperature data and Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) precipitation data. And MODIS 16 – day composite product of the normalized difference vegetation index (NDVI) was acquired to discuss the relationship between vegetation and climate factors by linear regression and correlation analysis method. The results are as following: (1) Vegetation ,land surface temperature and rainfall in Tibet were consistent with each other in temporal fluctuation and spatial distribution; (2) NDVI and land surface temperature in most area was increasing , while there was no significant changes in overall rainfall , with annual change rates of $-0.005 \sim 0.005/a$, $-0.05^{\circ}\text{C} \sim 0.15^{\circ}\text{C}/a$, $-30 \sim 40 \text{ mm}/a$, respectively; (3) NDVI , land surface temperature and rainfall varied greatly in different regions , and changed significantly in the central and eastern parts of Tibet; (4) The change of NDVI was closely related to climatic change (especially the increase of land surface temperature) ; (5) The areas mainly affected by the land surface temperature were distributed in eastern and western Tibet , and the areas mainly affected by rainfall was located in the middle of Tibet. In conclusion , climate change affected and changed the terrestrial ecosystem structure and function , so monitoring of climate and ecosystem changes is necessary.

Key words: NDVI; rainfall; land surface temperature; climate change