

2000—2010 年藏北申扎县植被 *NDVI* 时空变化与气候因子的关系

张晓克^{1,2}, 鲁旭阳¹, 王小丹^{1*}

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 山地表生过程与生态调控重点实验室, 四川 成都 610041;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 为揭示气候变化对申扎植被生态系统的影响, 利用 2000—2010 年间的 MODIS *NDVI* 数据和对应的气候资料, 研究了申扎县植被 *NDVI* 时空变化及其与气候因子的关系。结果表明, 近 10 年来研究区生长季 *NDVI* 是减少趋势 ($p=0.069$), 其年均减少量和减少率分别为 -0.0013 和 $-0.55\%/a$ 。*NDVI* 增加区域占申扎县总面积的 32.78%, *NDVI* 减少区域占总面积的 67.22%。*NDVI* 增加是高海拔的高山植被增加引起的, *NDVI* 减少是高寒草原和高寒草甸的下降共同引起的。高寒草原比高寒草甸变化更敏感; 温度升高导致的气候变暖变干可能是申扎县植被生长季 *NDVI* 减少的主要原因。

关键词: MODIS *NDVI*; 气候因子; 相关分析

中图分类号: Q948

文献标志码: A

归一化植被指数 (Normal 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: $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$ 。*NDVI* 是植被生长状态及植被空间分布密度的最佳指示因子, 与植物覆盖度、叶面积指数、蒸腾作用、太阳光的截取、光合作用以及地表净初级生产力等密切相关^[1-2]。随着人们对全球气候变暖等问题的日益关注, *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及其对气候响应的研究。

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, 不同的植被类型对温度、降水的响应存在很大差异^[3], 而且 *NDVI* 对气候因子的变化表现出一定的滞后效

应^[4]。在北半球中高纬度地区, 温度特别是生长季温度的年际变化对生物圈活动有显著影响, 但降水是半干旱区植被主要的生长限制因子^[5]。对中国的大部分地区而言, 气温对植被的影响超过降水, 植物生长状况与降水和气温显著相关, 对降水的敏感性趋势为草本植被最大^[6]。对于藏北地区植被类型、海拔和气候总体特征 (多年降水量均值和多年平均风速、潜在蒸散等) 是影响藏北高原草地 *NDVI* 与气候因子相关程度的主要因素^[7-8]。

本文利用 2000—2010 年遥感影像 MODIS *NDVI* 数据产品, 对藏北地区申扎县近 10 年来植被 *NDVI* 的变化趋势进行了动态分析, 以期对申扎草地植被活动与气候因子之间的关系有更进一步的了解, 为深入掌握该区植被状况提供科学依据, 为制定气候变化背景下该地区草地资源保护和利用策略提

收稿日期 (Received date): 2013 - 12 - 30; 改回日期 (Accepted): 2014 - 05 - 05。

基金项目 (Foundation item): 中国科学院战略性先导科技专项 (XDB03030505)、中国科学院西部行动计划 (KZCX2 - XB3 - 08) [Funded by "Strategic Priority Research Program" of the Chinese Academy of Sciences (XDB03030505) and the Action-plan of the Chinese Academy of Sciences (CAS) for West Development (KZCX2 - XB3 - 08).]

作者简介 (Biography): 张晓克 (1984 -), 女, 河北邢台人, 博士研究生, 主要从事高寒草地生态研究。[Zhang Xiaoke, female, born in Xintai, Hebei Province, Ph D student, major in alpine grassland ecology.] E-mail: zhang_xiao_ke@126.com

* 通信作者 (Author for correspondence): 王小丹 (1973 -), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事高山环境与高寒生态研究。[Wang Xiaodan (1973 -), male, professor, Ph D supervisor, mainly engaged in alpine environment and ecology.] E-mail: wxd@imde.ac.cn

供一定的数据支持和理论参考。

1 研究区概况

申扎县位于西藏自治区中部、那曲地区西部,冈底斯山和藏北第二大湖色林措之间,羌塘高原中部,范围 $87^{\circ}40' \sim 89^{\circ}48' \text{E}$, $30^{\circ}10' \sim 32^{\circ}10' \text{N}$;属南羌塘高原大湖盆地,地势较缓,丘陵、高山和盆地相间,丘顶与山地的相对高度一般在 $300 \sim 500 \text{ m}$,南部和北部平均海拔 $>4\,800 \text{ m}$,中部偏低,海拔均在 $4\,700 \text{ m}$ 左右;属高原亚寒带季风半干旱气候区,空气稀薄、低温、多风、日照时间长、干旱少雨且分布不均,年平均气温 0.4°C ,年平均降雨量 298.6 mm ,年均蒸发量高达 $2\,181.1 \text{ mm}$,年均日照时间 $2\,919.5 \text{ h}$;面积约 $4 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中湖泊河流约占 23% ,可利用草场面积 $160 \times 10^4 \text{ hm}^2$,约占 40% ,山地和沙漠等约占 37% ;主要发育高山草原植被,以紫花针茅 (*Stipa purpurea*) 为主,伴生有羊茅、苔草、火绒草等;总人口 1.64 万,是那曲地区的一个纯牧业县,以饲养牦牛、绵羊和山羊为主^[9-10]。申扎县植被分布图(1990 年代)如图 1。

2 数据与方法

2.1 数据预处理

2.1.1 MOD13Q1 数据

作为新一代对地观测传感器的代表,中分辨率成像光谱仪 MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) 是 Terra 和 Aqua 卫星上搭载的主要传感器之一,比 AVHRR 数据波段范围更广,包括了 36 个波段 ($0.405 \sim 14.385 \mu\text{m}$),数据空间分辨率包括 250 m 、 500 m 和 1 km 三个尺度。MODIS 数据具有全球覆盖、多空间分辨率、多光谱、更强的识别能力等多种优势,在生态环境评价和监测等方面体现出良好的适用性和强大的应用前景^[11, 12]。

MODIS 产品有 44 种,可以分为大气、陆地、冰雪、海洋 4 个专题数据产品,本文中使用的 MOD13Q1 属于陆地专题的产品,全称为 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid,简称:MOD13Q1。MOD13Q1 数据是采用 Sinusoidal 投影方式的 3 级网格数据产品,空间分辨率 250 m ,时间分辨率 16 d ,单景面积 $1200 \times 1200 (\text{km}^2)$,数据格式 HDF-EOS。

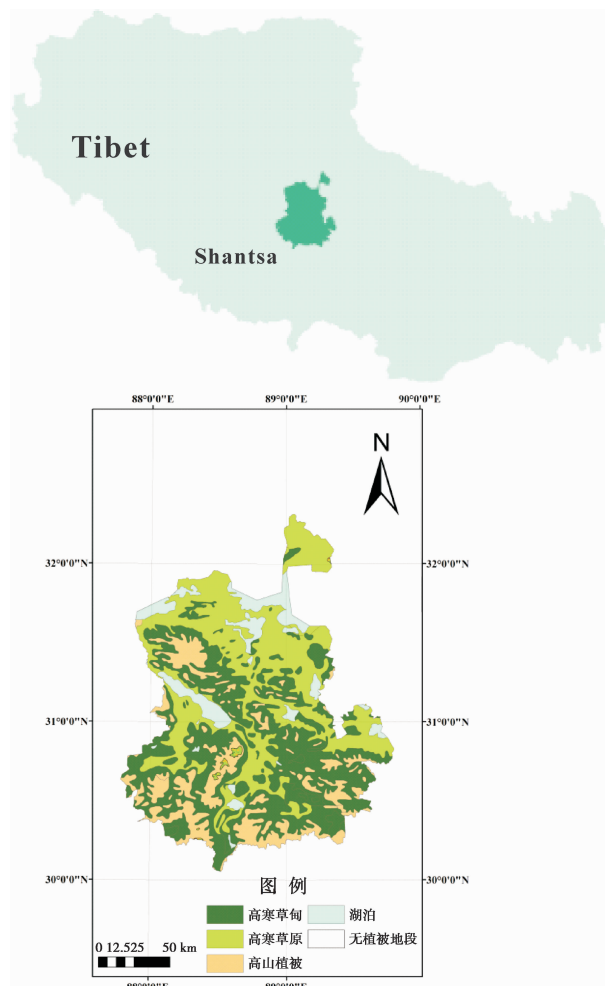


图 1 申扎县植被分布图

Fig. 1 Distribution of vegetation in Shantza

MOD13Q1 从 <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html> 网站下载,时间覆盖 2000—2010—12,对于下载的 MODIS 数据,用 MRT (Modis Reprojection Tools) 软件从中提取出 MODIS NDVI 数据,数据经过了批量拼接和投影变换,将 SIN 坐标转换为 WGS84/Geographic 坐标系统,地图投影转换为 Albers Equal Area 投影,将图像格式从 HDF 转换为 Tiff 格式。利用 ENVI 软件进行异常值处理、裁剪等预处理,得到 NDVI 的真实值,取值范围处于 $[-1, 1]$ 之间。

2.1.2 申扎县气候数据

申扎县气候数据来源于中国气象科学数据共享服务网 (<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>),时间为 2000—2010 年,数据内容包括气象内容的经纬度、海拔高度、日均温、日降水量、日照数等。

2.2 处理方法

为研究10年来申扎县植被NDVI随时间的变化趋势在空间上的差异,对每一象元所对应的生长季平均NDVI值与年份进行回归分析,得到Pearson相关系数(R_{xy})^[3],用来表示植被NDVI的变化趋势。这里设定:相关系数 R_{xy} 为负值的区域,表示NDVI呈减小趋势; R_{xy} 值为正值的地区,则表示NDVI呈增加趋势;如果 R_{xy} 值通过0.05的显著性水平($P < 0.05$),则认为减小或增加趋势显著

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{i})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - \bar{i})^2}}$$

式中 x_i 代表第 i 年的 NDVI 值, \bar{x} 、 \bar{i} 分别为变量 x , i 的均值; R_{xy} 为变量 x , i 的相关系数; n 为年份。

考虑到申扎县特殊的气候环境以及植被的生长情况,本文对季节作如下规定:生长季为5—9月,春季为5月,夏季为6—8月,秋季为9月。NDVI年平均增加量定义为NDVI与年份的回归直线的斜率,NDVI年平均增加率定义为年平均增加量与NDVI平均值的比值^[14]。

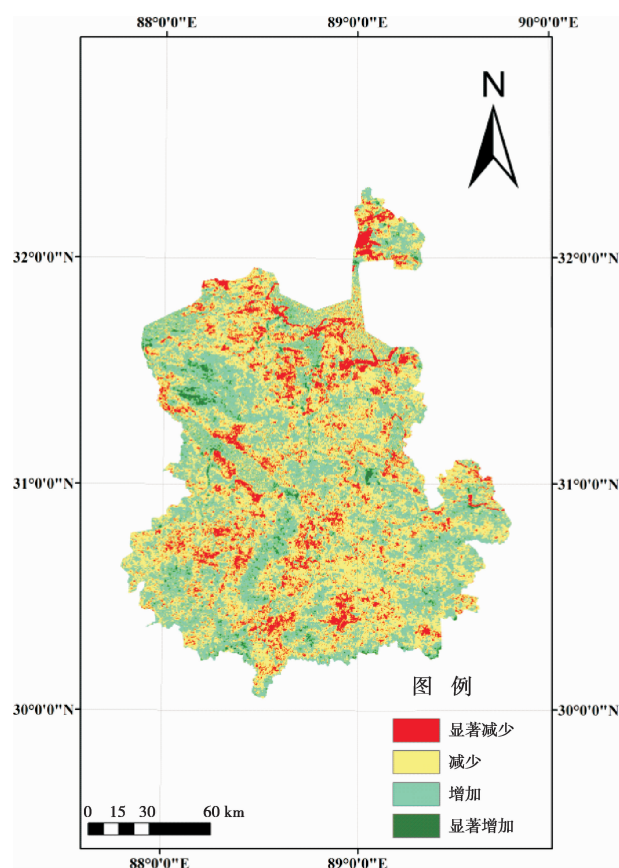


图2 2000—2010年申扎县植被变化趋势分布图

Fig. 2 Distribution of vegetation changing trend in Shantsa over the period of 2000—2010

3 结果

3.1 生长季NDVI年际变化

2000—2010年申扎县植被变化趋势图如图2所示,NDVI增加区域占申扎县总面积的32.78%,NDVI减少区域占总面积的67.22%。

从图3中可以看出,近10年来研究区生长季平均NDVI呈下降趋势,即从2000年的0.24下降到2010年的0.22,NDVI年平均减少量-0.0013($p = 0.069$),年平均减少率为-0.55%。研究区年均温度有所波动,增加趋势十分明显,平均每年增加0.12℃($p < 0.01$)。年降水量没有明显的变化趋势。

从图4中可以看出,近10年来高寒草甸NDVI

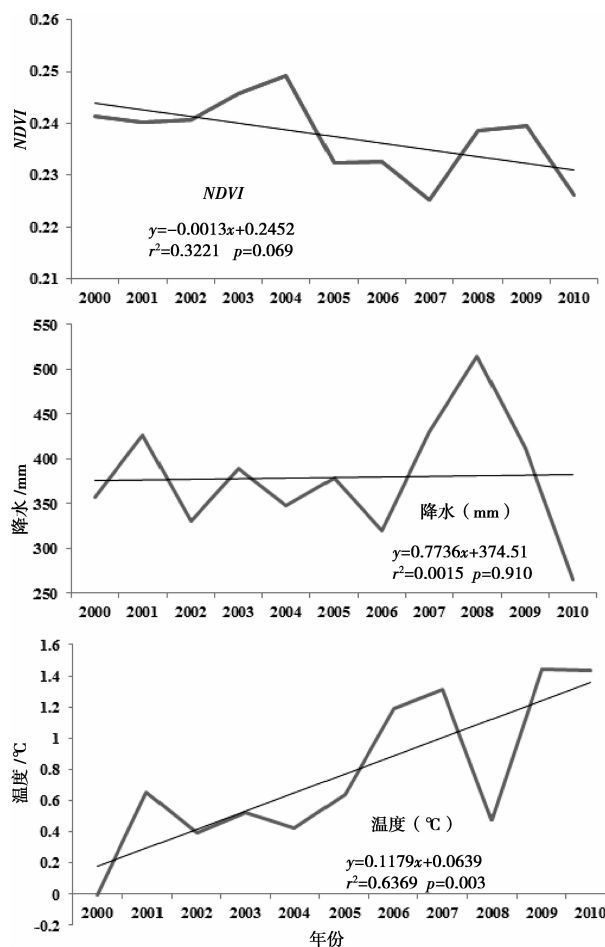


图3 2000—2010年申扎县植被生长季平均NDVI、降水量、平均温度的年际变化

Fig. 3 Interannual variations in growing season's mean NDVI, precipitation and mean temperature of vegetation in Shantsa over the period of 2000—2010

呈下降趋势,平均每年减少 -0.0014 ($p = 0.178$),年平均减少率为 -0.50% ;高寒草原是显著减少趋势,平均每年减少 -0.0013 ($p < 0.05$),年平均减少率为 -0.64% ,高寒草原比高寒草甸变化更敏感;高山植被是增加趋势,平均每年增加 0.0005 ($p = 0.462$),年平均增加率为 0.25% 。

总体上近 10 年来, $NDVI$ 是下降的, $NDVI$ 增加区域是高山植被的增加引起的, $NDVI$ 减少区域高寒草原和高寒草甸的下降共同引起的。

3.2 不同季节 $NDVI$ 的年际变化

为了分析申扎县植被不同季节 $NDVI$ 变化对生长季 $NDVI$ 减少的贡献,我们给出了近 10 年来不同季节 $NDVI$ 的变化趋势(图 5)。研究区春季增加($p = 0.259$),夏季 $NDVI$ 显著减少($p < 0.05$),秋季 $NDVI$ 则没有明显的变化趋势($p = 0.818$);不同季节 $NDVI$ 变化情况也有所差异,春季 $NDVI$ 年均增加

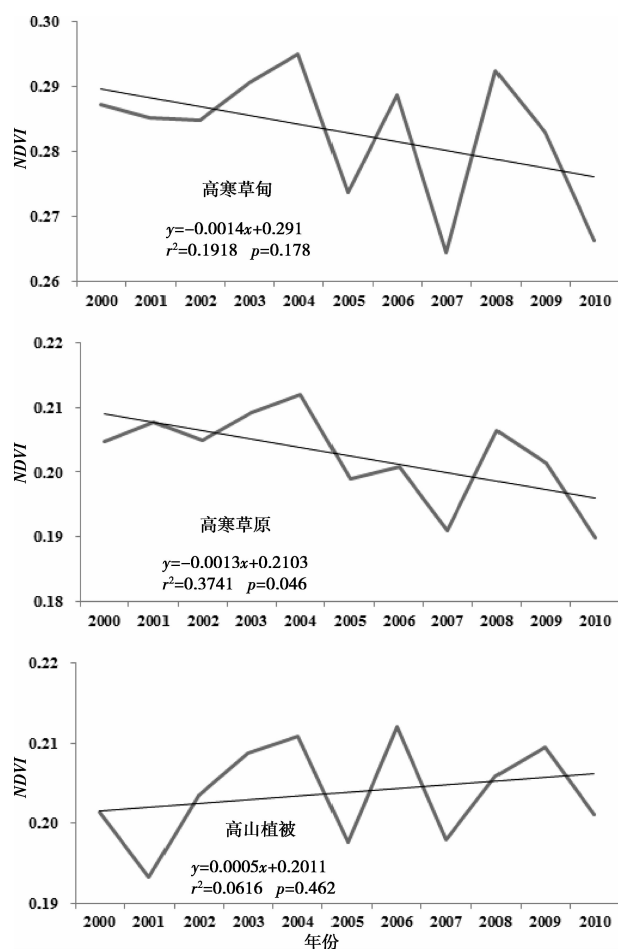


图 4 2000—2010 年申扎县不同植被类型生长季平均 $NDVI$ 的年际变化

Fig. 4 Interannual variations in growing season's mean $NDVI$ of different vegetation types in Shantza over the period of 2000—2010

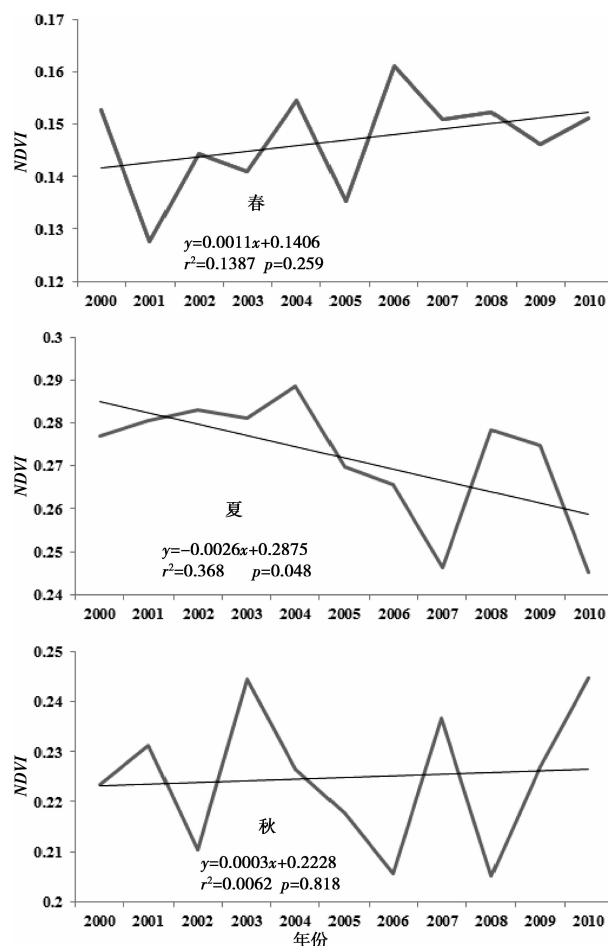


图 5 2000—2010 年研究区植被不同季节平均 $NDVI$ 的变化

Fig. 5 Interannual variations in seasonal mean $NDVI$ over the period of 2000—2010 for study area

量是 0.0011 ,增加率是 0.75% ;夏季 $NDVI$ 年均减少量是 -0.0026 ,减少率是 0.96% ;秋季 $NDVI$ 年均增加量是 0.0003 ,增加率是 0.13% 。夏季 $NDVI$ 的变化对生长季 $NDVI$ 减少的贡献最大。

3.3 $NDVI$ 变化与气候的关系

为了揭示申扎县植被不同季节 $NDVI$ 年际变化与气候因子的关系,我们对春、夏、秋季 $NDVI$ 和对应的温度、降水进行了相关分析。同时考虑到植被生长对气候变化存在滞后效应,我们对不同季节 $NDVI$ 与其所对应的季节及其前一季节的气候因子作了相关分析。

对于整个研究区而言,生长季 $NDVI$ 与年均气温显著负相关($r = -0.677$, $p = 0.022$),与降水关系不大($r = 0.147$, $p = 0.666$);春季 $NDVI$ 与春季温度、春季降水没有显著的相关关系($r = 0.432$, $p = 0.184$; $r = 0.033$, $p = 0.922$),夏季 $NDVI$ 与夏季温度显著负相关($r = -0.674$, $p = 0.023$),与春季温

度负相关($r = -0.487$, $p = 0.129$),而夏季降水和春季降水对夏季植被的生长正相关($r = 0.304$, $p = 0.363$; $r = 0.386$, $p = 0.241$)。秋季NDVI与秋季温度显著正相关($r = 0.660$, $p = 0.027$),而与其他因素没有表现出明显的相关关系。可见,研究区春季NDVI增加;夏季NDVI显著减少,与温度显著负相关;秋季NDVI与温度显著正相关,但秋季NDVI却没有表现出显著的变化趋势;总体上生长季NDVI的减少可能与温度升高相关。

4 讨论

NDVI作为植被生长的重要指标,已经被广泛应用。近10年来申扎县植被NDVI是下降趋势,毛飞^[8]等认为藏北高寒草原1981—2001年最大NDVI是增加趋势,杨元和^[14]等认为青藏高原1982—1999年生长季NDVI显著增加的,本文延续了上述时间段的研究结果,与梁爽^[15]等认为的1999—2010年青藏高原高寒草地NDVI是大范围下降趋势的结论一致,青藏高原植被存在着区域不平衡,植被变差的区域主要集中在海拔较高的、生态更为脆弱的藏北高原^[16]。

草地NDVI与气候关系密切,我们研究显示生长季NDVI的减少与温度升高相关,在全球变暖的大背景下,温度升高一方面可以增加光合速率,延长植物生长季,提高养分利用率;另一方面使蒸散加强,土壤变干,光合速率下降。后者在半干旱地区申扎县的作用大于前者,从而加剧草地水分的散失,进而引发植物的“生理干旱”,使草地生长衰退^[15]。

NDVI变化具有显著的空间异质性,如图2所示,海拔梯度造成的温度、水分和土壤肥力等环境异质性可能会极大地影响到植被的生长。高山植被分布在高海拔地区,随着海拔升高,人类活动受到自然条件的限制,对植物生长影响较少,表现出NDVI增加。

5 结论

NDVI是反映植被覆盖的一个重要指数,其变化是植被覆盖状况变化的一个重要表现。申扎县植被NDVI的时空变化及其与气温、降水气候因子的相关关系的分析结果如下:

1. 2000—2010年NDVI增加区域占申扎县总

面积的32.78%,高山植被NDVI年平均增加量0.0005($p = 0.462$),年均增加率0.25%。NDVI减少区域占总面积的67.22%,高寒草甸NDVI年平均减少量-0.0014($p = 0.178$),年平均减少率为-0.50%;高寒草原NDVI年平均减少量-0.0013($p < 0.05$),年平均减少率为-0.64%,高寒草原比高寒草甸变化更敏感。

2. 总体上近10年来研究区生长季NDVI呈下降趋势,从2000年的0.24下降到2010年的0.22,年平均减少量-0.0013($p = 0.069$),年平均减少率为-0.55%。

3. 研究区春季NDVI增加;夏季NDVI显著减少,与温度显著负相关;秋季NDVI与温度显著正相关,但秋季NDVI却没有表现出显著的变化趋势;总体上生长季NDVI的减少可能与温度升高相关,温度升高导致的气候变暖变干可能是申扎县植被生长季NDVI减少的主要原因。

参考文献(References)

- [1] Li Yungang, HE Daming. The Spatial and Temporal Variation of NDVI and Its Relationships to the Climatic Factors in Red River Basin[J]. Mountain Research, 2009, 27(3): 333-340 [李运刚, 何大明. 红河流域NDVI时空变化及其与气候因子的关系[J]. 山地学报, 2009, 27(3): 333-340]
- [2] Pettorelli, N., et al., Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2005, 20(9): 503-510
- [3] 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]
- [4] Bao Y, et al. Study on the spatial differences and its time lag effect on climatic factors of the vegetation in the Longitudinal Range - Gorge Region[J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(2): 42-49
- [5] Ichii K, A Kawabata, Y Yamaguchi. Global correlation analysis for NDVI and climatic variables and NDVI trends: 1982-1990[J]. International journal of remote sensing, 2002, 23(18): 3873-3878
- [6] 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[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 898-902]
- [7] Zhao Yuping, Zhang Xianzhou, Wang Jingsheng, et al. Correlation analysis between NDVI and climatic factors of grassland ecosystems in the Northern Tibetan Plateau from 1982 to 2003[J]. Resources Science, 2009, 31(11): 1988-1998 [赵玉萍, 张宪洲, 王景升, 等. 1982年至2003年藏北高原草地生态系统NDVI与气

- 候因子的相关分析[J]. *Resources Science*, 2009, **31**(11): 1988–1998]
- [8] Mao Fei, Lu Zhiguang, Zhang Jiahua, et al. Relations between AVHRR NDVI and climate factors in Northern Tibet in recent 20 years[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, **27**(8): 3198–3205 [毛飞, 卢志光, 张佳华, 等. 近 20 年藏北地区 AVHRR NDVI 与气候因子的关系[J]. *生态学报*, 2007, **27**(8): 3198–3205]
- [9] Chen Tao, Yang Wunian, Xu Yao. Research on the dynamic change of the grassland degradation in Shenzha County with RS and GIS technology[J]. *Journal of Southwest China Normal University: Nature Science Edition*, 2011, **36**(5): 134–139 [陈涛, 杨武年, 徐瑶. 基于 RS 和 GIS 的藏北地区草地退化动态监测与驱动力分析[J]. *西南师范大学学报: 自然科学版*, 2011, **36**(5): 134–139]
- [10] Xu Yao, He Zhengwei, Chen Tao. Remote Sensing analysis on vegetation degradation in Shenzha County of Northern Tibet[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2012, **40**(4): 76–78 [徐瑶, 何政伟, 陈涛. 藏北申扎县植被退化的遥感分析[J]. *贵州农业科学*, 2012, **40**(4): 76–78]
- [11] Zhang X, et al. Monitoring vegetation phenology using MODIS[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003, **84**(3): 471–475
- [12] Wang Jing, Guo Ni. Comparisons of Terra- and Aqua MODIS in band reflectance and vegetation index[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, **27**(10): 1711–1717 [王静, 郭妮. Terra MODIS 和 Aqua MODIS 波段反射率及植被指数比较[J]. *生态学杂志*, 2008, **27**(10): 1711–1717]
- [13] Gao Q Z. Dynamics of alpine grassland NPP and its response to climate change in Northern Tibet[J]. *Climatic Change*, 2009, **97**(3–4): 515–528
- [14] Yang Yuanhe, Piao Shilong. Variations in grassland vegetation cover in relation to climatic factors on the tibetan plateau[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2006, **30**(1): 1–8 [杨元合, 朴世龙. 青藏高原草地植被覆盖变化及其与气候因子的关系[J]. *植物生态学报*, 2006, **30**(1): 1–8]
- [15] Liang Shuang, Peng Shushi, Lin Xin, et al. NDVI – Based Spatial – Temporal Change in Grassland Growth of China from 1982 to 2010[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2013, **49**(2): 311–320 [梁爽, 彭书时, 林鑫, 等. 1982–2010 年全国草地生长时空变化[J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 2013, **49**(2): 311–320]
- [16] Li Wenhua, Zhao Xinquan, Zhang Xianzhou, et al. Change mechanism in main ecosystems and its effect of carbon source/sink function on the Qinghai – Tibetan Plateau[J]. *Chinese Journal of Nature*, 2013, **35**(3): 172–178 [李文华, 赵新全, 张宪洲, 等. 青藏高原主要生态系统变化及其碳源/碳汇功能作用[J]. *自然杂志*, 2013, **35**(3): 172–178]

The Spatial and Temporal Variation of *NDVI* and Its Relationships to Climatic Factors in Northern Tibet over the Period of 2000—2010

——Take Shantsa for Example

ZHANG Xiaoke^{1,2}, LU Xuyang¹, WANG Xiaodan¹

(1. Key Laboratory of Mountain Surface Processes and Ecological Regulation, Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: To reveal the effects of climate change on vegetation ecosystems, we used a time series (2000—2010) data set of Normalized Difference Vegetation Index (*NDVI*) together with historical climate data to analyze interannual variations of *NDVI* and explore the relationships between *NDVI* and climatic factors in Shantsa in this paper. The results show that *NDVI* decreased by a magnitude of -0.0013 and a ratio of $-0.55\%/a$ during the growing season ($p=0.069$) over recent decade. The *NDVI* increasing area accounts for a total area of 32.78%, while the *NDVI* decreasing area accounts for a total area of 67.22% in Shantsa. The *NDVI* increasing area is alpine vegetation, which is distributed in high altitude area. The *NDVI* decreasing area is alpine meadow and alpine steppe, the latter is more sensitive than the former. Increased temperature which leads to drought climate may be the main reason for *NDVI* decreasing.

Key words: Normalized Difference Vegetation Index (*NDVI*); climatic factors; correlation analysis