

# 三江源区植被指数时空变化对 水热条件的响应

赵芳<sup>1</sup>, 林恭华<sup>2</sup>, 赵之重<sup>1</sup>

(1. 青海大学, 青海 西宁 810016; 2. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810008)

**摘要:** 研究基于三江源区 18 个站点 2000-2009 共 10 年的气温、降水数据和 MODIS(NDVI, EVI) 植被指数, 重点探讨三江源区植被指数的年际变化和空间变化对水热条件变化的响应机制。结果表明, 1) 三江源区植被指数在 2000-2009 年间总体上呈上升趋势; 2) 近 10 年内的植被指数均值在 18 个台站间分布极不均衡; 3) 分年(多台站) 数据分析显示, 降水在多数年份表现出与植被指数显著正相关, 而气温在所有年份与植被指数都无显著相关性; 4) 分台站(多年) 数据分析显示, 分别有 7 个和 5 个台站的 NDVI 或 EVI 与降水和气温呈显著相关关系。总体看来, 三江源区植被指数的分布及其与水热条件的关系都存在明显的时空差异, 同时, 植被指数变化对降水的响应强于气温, 降水是影响三江源区植被生长的主导因子。

**关键词:** NDVI; EVI; 降水; 气温; 时空差异

中图分类号: Q948.1; S127

文献标识码: A

文章编号: 1001-0629(2011)06-1095-06

三江源区位于青藏高原腹地, 是青藏高原构成的主体<sup>[1]</sup>。三江源区是中国江河中下游地区和东南亚国家生态环境安全和区域可持续发展的生态屏障, 同时也是中国生态系统最敏感和最脆弱的地区之一<sup>[2]</sup>。草地生态系统是三江源区的主体生态系统类型, 对这一地区乃至全球气候环境稳定具有重要意义。三江源区以高寒植被为主体<sup>[3]</sup>, 群落结构简单, 植被特征随着时间和空间而变化。植被指数是对地表植被活动的简单、有效的经验度量, 分析三江源区植被指数时空变化对重要气候因子的响应, 有助于准确了解这一地区的植被现状并为预测植被变化提供重要理论依据。

水热条件(降水和气温)是表征气候最重要的因子<sup>[4]</sup>, 也是影响植被指数时空异质性的主要因子<sup>[5]</sup>。当前, 对于三江源区植被指数时空差异及其与水热条件的关系研究, 主要包括两类方法。一类是以三江源区的整体或部分区域为空间单元, 分析其植被指数在年际间的变化规律及其与水热条件的关系<sup>[4, 6-7]</sup>; 另一类是以某一年或连续多年为时间单元, 研究不同采样点间植被指数的分布及其与水热条件的关系<sup>[8-10]</sup>。然而, 值得注意的是, 三江源地区植被指数变化存在明显的时空差异<sup>[11-12]</sup>, 单独对局部地区或三江源区整体进行时间动态分析可能会忽略空间水平上的特殊性, 而单独对个别年份进行空间差异分析则可能忽略时间水平上的异质性细节。此

外, 值得一提的是, 近 10 年来, 在全球气候变化的整体背景下, 三江源区气温、降水特征有新的变化, 对这一地区草地植被指数的时空变化可能存在新的影响。因此, 利用最新资料对三江源区植被指数时空异质性及其与水热因素的关系进行系统分析是极其必要的。

大部分相关研究都是基于 8 km 精度的 NOAA-AVHRR NDVI 指数, 2000 年以来, 精度更高(可达 250 m)、对植被具有更高敏感度的 MODIS VI 产品(NDVI 和 EVI) 逐渐成为草地监测的主要基础资料。然而, 利用 MODIS 产品对三江源地区近 10 年来植被指数时空变化及其与水热条件的关系研究, 至今未见报道。本研究基于三江源区 18 个站点 2000-2009 共 10 年的气温、降水和 MODIS(NDVI, EVI) 数据, 结合多种统计分析方法, 重点探讨三江源区植被指数的年际变化和空间变化对水热条件变化的响应机制, 为这一地区的草地形势预测提供有价值的参考资料。

## 1 资料与分析方法

### 1.1 卫星遥感影像 采用 NASA/ MODIS 产品

\*收稿日期: 2011-04-20 接受日期: 2011-04-26  
基金项目: 国家自然科学基金项目(41061024); 青海省科学技术厅资助项目(2009-2011)  
作者简介: 赵芳(1987), 女, 湖南澧县人, 在读硕士生, 主要从事草地生态与环境保护相关研究。  
E-mail: zf\_lgh@yahoo.cn  
通信作者: 赵之重 E-mail: qd\_zzz@163.com

MOD13Q1(MODIS/Terra Vegetation Indices 16 Day L3 Global 250m SIN Grid.)。因为三江源区牧草生长季为4月中旬-9月下旬,所以选用2000-2009年4月23日-9月30日合成的NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)和EVI(Enhanced Vegetation Index)植被指数时空数据集。

而且三江源区覆盖两景影像,所以每年共有20景影像。该数据可以从NASA' WIST 数据网站下载,网址为<https://wist.echo.nasa.gov/api/>。

1.2 气象资料 收集了三江源区18个气象台站(图1)2000-2009年年均温和年均降水量观测数据。

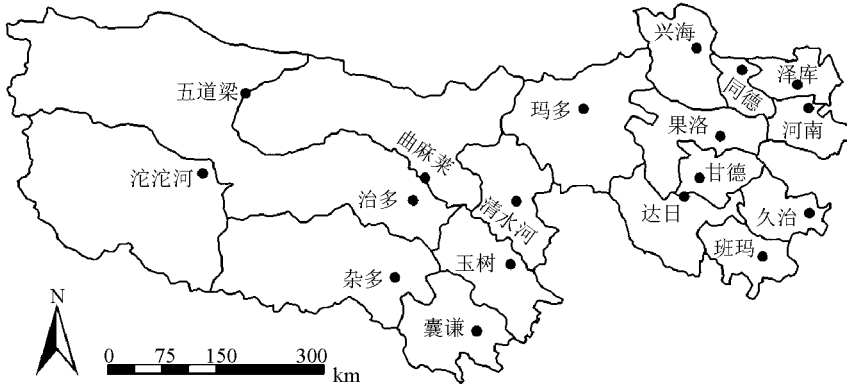


图1 三江源区气象台站分布

1.3 分析方法 首先,利用MRT(MODIS Reprjection Tool)对每年的原始影像进行同期镶嵌处理,得到拼接后的10景NDVI和10景EVI影像;而后在ArcGIS 9.3中进行投影转换,利用Spatial Analyst 模块中的Raster Calculator 程序分别将10景NDVI和10景EVI影像合并为单景的NDVI和EVI均值影像(即对影像取平均值)。将18个台站的经纬度信息导入ArcGIS 9.3,使用Extract Values to Points 工具,从每年NDVI和EVI均值影像中提取出每个台站每年的NDVI像元值和EVI像元值。

2000-2009年植被指数NDVI和EVI的变化趋势图(图2)中可以发现,NDVI和EVI的走势基本一致,不同的植被指数在反映三江源区植被变化时具有很高的相关性( $R^2 = 0.939$ )和同步性。从植被指数的线性趋势线可以看出,三江源区近10年来植被指数总体上呈上升趋势;值得注意的是,NDVI和EVI与年份的Spearman 相关性较弱( $R_{NDVI} = 0.430, R_{EVI} = 0.321, P > 0.200$ ),推测可能是三江源区植被指数的年际波动幅度较大所致。

为了充分探讨植被指数对水热条件的响应规律,研究分别进行了分年(多台站)和分台站(多年)数据分析过程。在分析植被指数对水热条件的分年动态响应时,将每年18个台站的NDVI像元值和EVI像元值以及对应台站的年均温、年降水量在PASW18.0中进行相关分析、偏相关分析等。同样,在分析植被指数对水热条件的分台站响应时,将各个台站10年的NDVI像元值和EVI像元值与对应年的平均气温、降水量在PASW18.0中进行相关分析、偏相关分析等。

2.1.2 空间分布差异 三江源区植被指数存在很大的空间差异,值最大的清水河台站和值最小的五道梁台站的NDVI、EVI值分别相差4380.30和3232.60(图3)。将18个台站按地理位置分为东部、中部和西部地区台站,其中东部、中部和西部地区NDVI均值分别为4050.37、3502.85和2151.72,EVI均值分别为2683.16、2391.45和1364.92,呈现出相同的规律,即由东向西逐渐降低。而在区域内部,同样存在明显的空间差异,如中部地区的班玛台站其NDVI和EVI分别是兴海台站的2.48和2.22倍。

2 结果

2.1 三江源区植被指数变化

2.1.1 年际变化趋势 从三江源区18个台站在

2.2 三江源区植被指数变化对水热条件的响应  
2.2.1 植被指数年际变化对水热变化的响应 从2000-2009年18个台站年均降水、气温与对应台

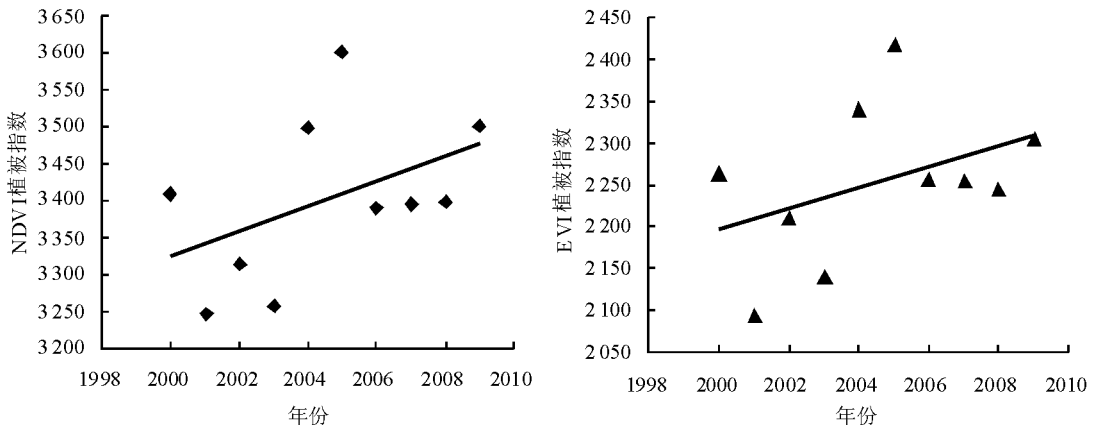


图 2 三江源区 NDVI、EVI 在 2000- 2009 年的变化趋势

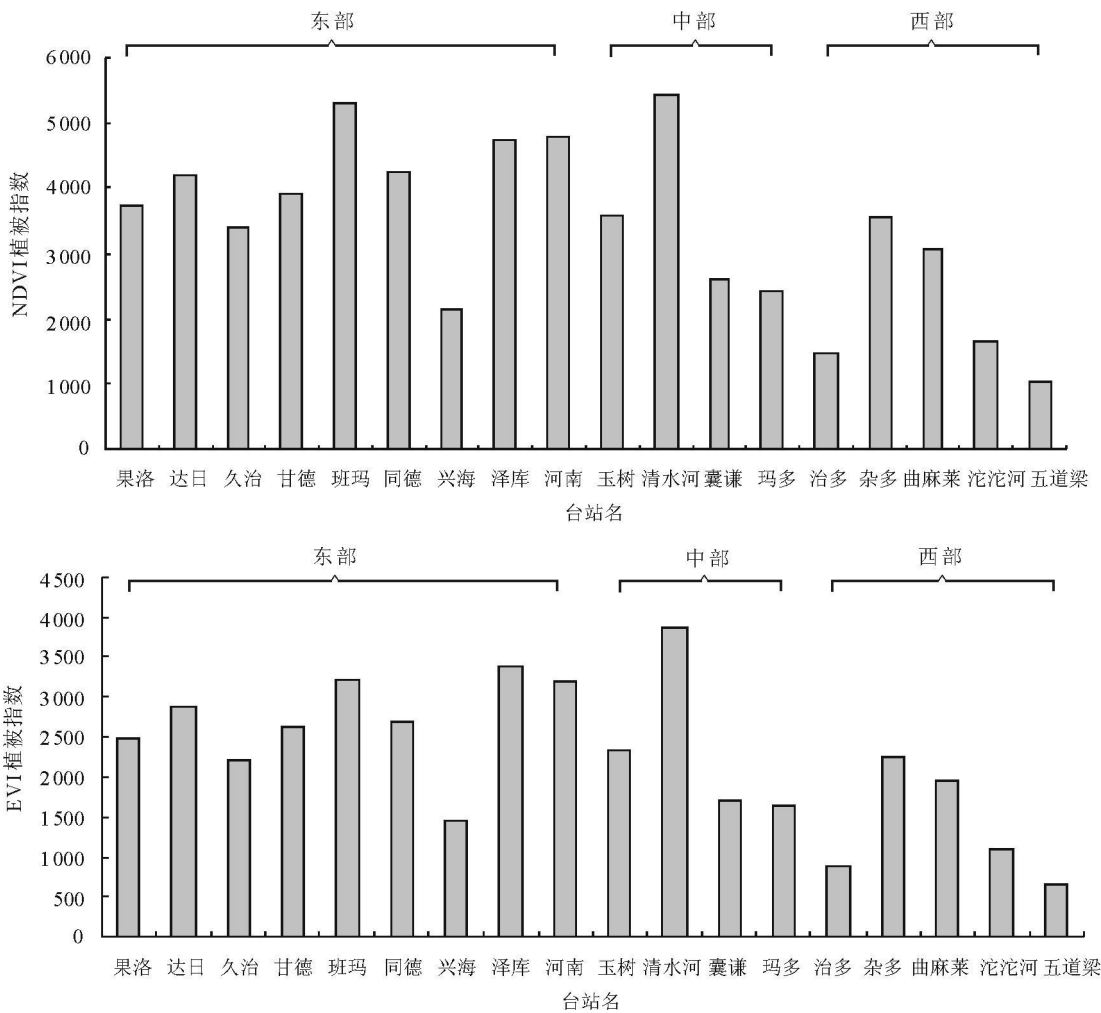


图 3 三江源区 18 个台站 NDVI、EVI 的空间差异

站 NDVI、EVI 值的直接相关和偏相关结果(表 1)来看,NDVI、EVI 与降水和气温在每一年的相关性显著程度都不同,表现出较明显的时间差异。NDVI、

EVI 在除了 2002 年的其他所有年份,与降水呈显著的正相关关系,表明降水是影响近 10 年三江源区植被的主导因子。同时,NDVI、EVI 在 10 年内与气温

表1 2000-2009年18个台站年平均降水、气温和植被指数的相关性

年份	降水		降水(偏相关)		气温		气温(偏相关)	
	NDVI	EVI	NDVI	EVI	NDVI	EVI	NDVI	EVI
2000	0.562*	0.511*	0.491*	0.422ns	0.256ns	0.245ns	-0.032ns	-0.013ns
2001	0.606*	0.637*	0.608*	0.604*	0.266ns	0.305ns	-0.182ns	-0.219ns
2002	0.199ns	0.135ns	0.210ns	0.198ns	0.194ns	0.132ns	-0.248ns	-0.187ns
2003	0.591*	0.550*	0.564*	0.540*	0.193ns	0.147ns	-0.164ns	-0.200ns
2004	0.697*	0.717*	0.697*	0.677*	0.172ns	0.129ns	-0.054ns	-0.156ns
2005	0.538*	0.552*	0.510*	0.527*	0.135ns	0.058ns	-0.112ns	-0.250ns
2006	0.550*	0.523*	0.438ns	0.443ns	0.121ns	0.096ns	-0.066ns	-0.156ns
2007	0.633*	0.709*	0.666*	0.698*	0.115ns	0.102ns	-0.038ns	-0.153ns
2008	0.678*	0.647*	0.681*	0.662*	0.222ns	0.143ns	-0.129ns	-0.237ns
2009	0.478*	0.511*	0.362ns	0.379ns	0.172ns	0.127ns	0.147ns	0.043ns

注: \*\* 表示相关极显著 ( $P < 0.01$ ); \* 表示相关显著 ( $P < 0.05$ ); ns 表示相关不显著 ( $P > 0.05$ )。下表同。

的相关关系都不显著, 偏相关结果又显示相关关系为负值, 表明近 10 年来, 气温对三江源区植被的影响较小, 而且是负向影响。

### 2.2.2 植被指数空间分布差异对水热变化的响应

从 18 个台站 2000-2009 年年均降水、气温与对应年的 NDVI、EVI 值的直接相关和偏相关结果(表 2)

来看, 在三江源区这个大区域内, 各个台站植被指数与水热条件的相关显著性各不相同, 有的台站相关性极显著, 有的则不显著, 其中分别有 7 个和 5 个台站的 NDVI 或 EVI 与降水和气温呈显著相关关系, 表现出很大的空间差异。降水和气温对植被指数的影响仍然不同, 多数台站植被指数与降水的相关性

表2 18个台站2000-2009年年平均降水、气温和植被指数的相关性

站点	降水		降水(偏相关)		气温		气温(偏相关)	
	NDVI	EVI	NDVI	EVI	NDVI	EVI	NDVI	EVI
班玛	0.442ns	0.297ns	0.414ns	0.266ns	0.470ns	0.390ns	0.314ns	0.254ns
达日	-0.455ns	-0.394ns	-0.475ns	-0.223ns	-0.318ns	-0.226ns	-0.226ns	-0.307ns
甘德	0.467ns	0.588ns	0.464ns	0.670*	0.061ns	0.182ns	0.056ns	0.097ns
果洛	0.358ns	0.527ns	0.483ns	0.555ns	0.012ns	0.067ns	-0.156ns	-0.175ns
河南	0.661*	0.527ns	0.526ns	0.355ns	0.317ns	0.494ns	0.140ns	0.225ns
久治	-0.455ns	-0.733*	0.281ns	-0.015ns	-0.585ns	-0.677*	-0.656ns	-0.534ns
玛多	0.758*	0.661*	0.761*	0.670*	0.055ns	0.134ns	-0.458ns	-0.328ns
囊谦	0.418ns	0.418ns	0.332ns	0.320ns	-0.409ns	-0.470ns	-0.611ns	-0.692*
清水河	0.661*	0.600ns	0.556ns	0.494ns	0.165ns	0.220ns	0.051ns	0.106ns
曲麻莱	0.758*	0.709*	0.669*	0.609ns	0.669*	0.693*	0.678*	0.635ns
同德	0.745*	0.442ns	0.716*	0.629ns	-0.227ns	-0.460ns	-0.087ns	-0.509ns
沱沱河	0.115ns	0.024ns	0.079ns	-0.127ns	-0.564ns	-0.693*	-0.661ns	-0.689*
五道梁	-0.115ns	-0.370ns	-0.133ns	-0.244ns	0.030ns	-0.098ns	0.228ns	0.110ns
兴海	0.321ns	0.321ns	0.263ns	0.102ns	-0.172ns	0.345ns	-0.083ns	0.128ns
玉树	0.321ns	0.236ns	0.442ns	0.398ns	-0.207ns	-0.316ns	-0.410ns	-0.551ns
杂多	0.624ns	0.539ns	0.875*	0.771*	0.383ns	0.474ns	0.742*	0.705*
泽库	0.467ns	0.479ns	0.596ns	0.632ns	-0.293ns	-0.366ns	-0.760*	-0.644ns
治多	0.406ns	0.333ns	0.353ns	0.162ns	0.006ns	-0.030ns	-0.283ns	-0.122ns

好于气温(如玛多),也有台站气温的相关性好于降水(如班玛),有的则是降水和气温的相关显著性都较高(如曲麻莱),总体而言,三江源区降水与NDVI、EVI的相关性好于气温。

### 3 讨论与结论

三江源区植被指数在2000–2009年间呈明显上升趋势,降水和气温也是逐渐增加和升高,这表明,三江源区在2000–2009年间植被状况逐渐恢复,植被指数总体上对水热条件的响应很高。同时,三江源区植被指数存在明显的空间差异。18个台站的NDVI和EVI值各不相同,有的甚至相差5~6倍,区域之间也有明显的差异,植被指数呈从东部往西部逐渐降低的趋势,降水、气温均值也是逐渐降低,区域之间植被指数对水热条件有很好的响应。因此认为,三江源区地处高寒地区,气候条件恶劣,特别是进入21世纪以来,降水和气温的大幅度波动和不确定性对植被指数的时空差异影响很大。

基于不同年份的相关分析结果显示,三江源区植被指数与水热条件的相关性存在时间上的差异。降水在某些年份与植被指数呈极显著相关,而在有的年份却不显著,因此认为,有些研究用某一年或一个时间段的数据分析水热条件对该区植被的影响,可能会影响结论的准确性。与此同时,将每年18个台站的气温和降水取均值后与对应年的年均NDVI、EVI值进行直接相关和偏相关分析,结果表明相关性都不显著;可见,植被指数对水热条件响应规律的时间异质性也随空间地域的不同而变化,如若将三江源区大面积范围内的植被指数看作一个整体进行分析,也可能发生误判的情况。分台站的相关分析结果表明,植被指数与水热条件的相关性在三江源区18个台站间各不相同。如果片面地选取整个三江源区或某个局部地区进行分析,很容易导致错误的结论。将每个台站10年的降水、气温取均值后与NDVI、EVI进行相关性分析,相关性不显著,可见,空间异质性也有时间段的差异。综上所述,鉴于三江源区植被指数及其对水热条件响应规律具有严重的时空差异,在这一地区进行相关分析时应充分考虑研究对象的时空特性。

唐红玉等<sup>[4]</sup>和陈琼等<sup>[7]</sup>研究显示,气温是影响三江源区植被生长的主导因子。而本研究表明,降

水对三江源区植被时空变化的影响大于温度,即降水才是影响三江源区植被变化的主导因子。由于之前的相关研究所用的植被指数为8 km的NDVI数据,而本研究结合250 m的NDVI和EVI数据同时进行分析,精度和数据量都高于前者,结果应更能反映真实规律。值得一提的是,不论是分年份,还是分台站,都发现降水总体上对植被指数呈正向影响,而气温总体上呈负向影响,具体原因有待进一步的分析。

### 参考文献

- [1] 陈桂琛. 三江源自然保护区生态保护与建设[M]. 西宁: 青海人民出版社, 2007: 142.
- [2] 樊江文, 邵全琴, 刘纪远, 等. 1988–2005年三江源草地产草量变化动态分析[J]. 草地学报, 2010, 18(1): 5–10.
- [3] 王堃, 洪绂曾, 宗锦耀, 等. “三江源”地区草地资源现状及持续利用途径[J]. 草地学报, 2005, 13: 28–47.
- [4] 唐红玉, 肖风劲, 张强, 等. 三江源区植被变化及其对气候变化的响应[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(4): 177–180.
- [5] 李晓东, 傅华, 李凤霞, 等. 气候变化对西北地区生态环境影响的若干进展[J]. 草业科学, 2011, 28(2): 286–295.
- [6] 徐维新, 古松, 赵新全. 气候持续变暖引起三江源地区植被出现阶段性变化新特点[C]. 北京: 第26届中国气象学会年会气候变化分会, 2009: 943–955.
- [7] 陈琼, 周强, 张海峰, 等. 三江源地区基于植被生长季的NDVI对气候因子响应的差异性研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(6): 1284–1289.
- [8] 于龙. 基于“3S”技术的三江源区果洛州草地动态空间分析[D]. 西宁: 中国科学院西北高原生物研究所, 2009.
- [9] 马轩龙. 基于3S技术对青海省草地资源生产力的监测[D]. 兰州: 兰州大学, 2008.
- [10] 米兆荣, 张耀生, 赵新全, 等. NDVI和EVI在高寒草地牧草鲜质量估算和植被动态监测中的比较[J]. 草业科学, 2010, 27(6): 13–19.
- [11] 杨建平, 丁永建, 陈仁升, 等. 长江黄河源区高寒植被变化的NDVI记录[J]. 地理学报, 2005, 60(3): 467–478.
- [12] 张镜铨, 刘林山, 摆万奇, 等. 黄河源地区草地退化空间特征[J]. 地理学报, 2007, 61(1): 3–14.

## The response of temporal and spatial change of vegetation index to hydrothermal condition in the Three-Rivers Headwaters Region

ZHAO Fang<sup>1</sup>, LIN Gong-hua<sup>2</sup>, ZHAO Zhi-zhong<sup>1</sup>

(1. Qinghai University, Qinghai Xining 810016, China; 2. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Qinghai Xining 810008, China)

**Abstract:** The response of temporal and spatial change of vegetation index to hydrothermal conditions was discussed by analyzing the relationship between temperature and precipitation data from 18 meteorological stations and NDVI/EVI from MODIS product during the period 2000–2009 in the Three-Rivers Headwaters region. This study indicated that the vegetation index showed an increasing trend from 2000 to 2009 and its mean value of the vegetation index were unevenly distributed among the 18 meteorological stations. The vegetation index was positively significantly correlated with precipitation in most years but was not significantly correlated with temperature in all years. Data from 7 and 5 meteorological stations among the 18 meteorological stations showed that precipitation and temperature had significant correlations with vegetation index. In general, the distribution of vegetation index and its relationships between these indexes and hydrothermal conditions had significant temporal and spatial differences. Meanwhile, the vegetation index had a more strong response to precipitation than to temperature, indicating that precipitation played a leading role in vegetation growth in the Three-Rivers Headwaters region.

**Key words:** NDVI; EVI; precipitation; temperature; temporal and spatial difference

欢迎投稿

欢迎订阅

《草业科学》

《草业科学》由中国草学会、兰州大学草地农业科技学院共同主办,是草业科技与信息交流的重要窗口,旨在沟通国内外草业科学信息,推进草业科学研究,推广草业科学技术成果,培养草业科学人才。主要刊载国内外草业科学及其相关领域,如畜牧学、农学、生态学、林学、经济学和管理学等领域的创新性研究论文、综述、专论和学科前沿动态等。

《草业科学》是英国 CABI 文献数据库来源期刊,中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊,入选全国中文核心期刊,中国科技核心期刊,中国农业核心期刊。2010年版科技部中国科技信息所《中国科技期刊引证报告》统计影响因子上升为 1.606,在全国畜牧、兽医科学类期刊中排名第 2 位;总被引频次上升为 2595,在全国畜牧、兽医科学类期刊中排名第 1 位。

本刊为月刊,大 16 开本,彩色封面,国内外公开发行,邮发代号 54–51,每期定价 12 元,全年 144 元。全国各地邮局均可订阅,也可直接与本刊编辑部联系订阅。

标准刊号: ISSN 1001-0629

CN 62-1069/S

邮发代号: 54–51

编辑部地址: 兰州市城关区嘉峪关西路 768 号 《草业科学》编辑部

邮编: 730020

电话: (0931) 8912486

E-mail: cykx@lzu.edu.cn

网址: <http://cykx.lzu.edu.cn>