

黄河源区青海省玛多县 2000—2014 年 NDVI 变化及气候驱动因子

范微维¹, 易桂花^{1,2}, 张廷斌^{1,3,4}, 别小娟¹, 王琦¹

(1. 成都理工大学 地球科学学院, 四川 成都 610059; 2. 中国科学院 水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 3. 成都理工大学 工程技术学院, 四川 乐山 614007; 4. 地学空间信息技术国土资源部重点实验室, 四川 成都 610059)

摘 要: [目的] 研究黄河源区青海省玛多县 2000—2014 年 NDVI 的变化及其驱动因子气候的变化, 为玛多县生态环境保护和土地资源规划提供决策依据。[方法] 利用玛多县及其周边地区 9 个气象站生长季气象资料和 MOD13Q1/NDVI 遥感影像数据集, 采用最大值合成法、趋势分析法和相关分析方法, 分析 NDVI 的变化及气候驱动因子。[结果] 近 15 a 玛多县 NDVI 整体上呈增加趋势, 增速为 0.012/10 a; 玛多县 65.84% 区域的植被覆盖保持在基本不变状态, 改善区域 (27.47%) 大于退化区域 (6.69%); NDVI 与生长季气温和降水均呈正相关关系, 其中生长季降水对 NDVI 的影响更大; 研究区内 NDVI 变化主要受非气候因子驱动影响, 占研究区面积的 83.61%, 受气候驱动影响的面积仅占 16.39%, 其中, 气温降水综合驱动型占 3.93%, 气温驱动型占 2.74%, 降水驱动型占 9.72%。[结论] 2000—2014 年非气候因素是影响玛多县植被 NDVI 变化的决定性因素。

关键词: NDVI; 植被覆盖; 气候变化; 驱动因子; 玛多县

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)01-0335-06

中图分类号: Q948

文献参数: 范微维, 易桂花, 张廷斌, 等. 黄河源区青海省玛多县 2000—2014 年 NDVI 变化及气候驱动因子 [J]. 水土保持通报, 2017, 37(1): 335-340. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.059; Fan Weiwei, Yi Guihua, Zhang Tingbin, et al. Variation of NDVI and its climatic driving factors in Maduo County of Qinghai Province in Yellow River source region during 2000—2014 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(1): 335-340. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.059

Variation of NDVI and Its Climatic Driving Factors in Maduo County of Qinghai Province in Yellow River Source Region During 2000—2014

FAN Weiwei¹, YI Guihua^{1,2}, ZHANG Tingbin^{1,3,4}, BIE Xiaojuan¹, WANG Qi¹

(1. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu,

Sichuan 610041, China; 3. College of Engineering & Technical, Chengdu University of

Technology, Leshan, Sichuan 614007, China; 4. Key Laboratory of Geoscience Spatial

Information Technology, Ministry of Land and Resources of China, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: [Objective] The objective of this study is to analyze the vegetation dynamics and the impacts of climate change on vegetation cover in Maduo County of Qinghai Province, in order to provide decision basis for the ecological environment protection and planning of land resources. [Methods] MODIS13Q1/NDVI time series data, mean air temperature and precipitation data from 9 associated weather stations in growing-season during 2000 to 2014 were collected. Methods including maximum value synthesis, trend line analysis, correlation analysis, partial correlation analysis and multiple correlation analysis were applied. [Results] At temporal scale, NDVI had increased gradually at a rate of 0.012/10 a, which showed a good development

收稿日期: 2016-03-25

修回日期: 2016-06-12

资助项目: 国家科技支撑项目“重点领域气候变化影响与风险评估技术研发与应用”(2012BAC19B05)

第一作者: 范微维(1989—), 女(汉族), 四川省广安市人, 硕士研究生, 主研究方向为生态遥感。E-mail: 1282985955@qq.com。

通讯作者: 易桂花(1982—), 女(汉族), 四川省南充市人, 博士, 副教授, 主要从事生态遥感研究。E-mail: yigh@cdut.edu.cn。

trend for the vegetation cover in this region. At spatial scale, 65.84% area of vegetation coverage remained unchanged basically, while the increased and decreased area covered by 27.47% and 6.69% of this area, respectively. NDVI changes in the study area were mainly driven by non-climatic factors, which accounted for 83.61% of the area of the study area. In contrast, only 16.39% of the area was affected by climatic factors, of which, 3.96% was driven by a combined climatic factor of both air temperature and precipitation, 2.74% was driven by temperature and 9.72% was driven by precipitation. [Conclusion] Human activities are the key factors that affect the vegetation changes in Maduo County during the period from 2000 to 2014.

Keywords: NDVI; vegetation cover; climate change; driving factor; Maduo County

植被是生态系统的重要组成部分,是土壤、大气和水分的自然纽带,在全球变化中起着不可替代的作用^[1-2]。气候因素是植物生长和发育的重要条件,近年来,对植被与气候要素关系的研究在全球变化研究中占有重要地位,已成为全球气候变化研究的热点之一^[3-7]。遥感数据具有覆盖区域面积大、地表分辨率高、多时相重复观测等特点,是区域植被变化研究的重要手段^[8],在众多的遥感数据产品中,归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)是地表植被覆盖和光合作用有效辐射吸收能力的一个较好指标^[3],能够在较大范围内连续、准确地反映植被覆盖状况和生长状况^[9]。

玛多县位于青海省果洛藏族自治州,地理坐标范围位于 33°50′—35°40′N,96°55′—99°20′E,总面积为 26 099 km²,是黄河上游最大的水源涵养区和主要产流区,有“千湖之县”的美称。由于玛多县严酷而独特的自然环境,该区也是三江源地区生态环境最敏感和最脆弱的地区之一^[10]。区内植被类型比较简单,以高寒草原、高寒草甸和高山稀疏植被为主^[11],生态系统非常脆弱,对气候变化敏感且响应迅速。自 20 世纪 80 年代以来,受全球气候变暖的影响,气候表现为暖干化趋势,加之超载放牧、鼠害泛滥以及采药开矿等人类活动较为频繁,黄河源地区开始出现生态环境恶化的现象,引发高寒草原、高寒草甸退化、土地沙漠化等一系列生态环境问题。进入 21 世纪以后研究区出现暖湿化趋势^[12-15],但是气候变化对玛多县植被生长的影响研究则较少。那么,在长期气候变暖背景下,研究玛多县近 15 a NDVI 的时空变化特征和规律,气候变化对植被 NDVI 的影响范围和幅度,以及气候与非气候因素影响植被 NDVI 的定量评价等问题,对理解全球变化对区域生态环境的影响具有重要的意义。基于此,本文拟以 MOD 13Q1/NDVI 数据为基础,研究 2000—2014 年黄河源区玛多县 NDVI 的时空变化特征及其对气温和降水的响应,以期对玛多县生态环境保护 and 土地资源规划提供决策依据。

1 数据资料与研究方法

1.1 数据源及预处理

研究区植被生长季为 5—9 月^[9],故选用 2000—2014 年每年第 129—273 d 的 16 d 合成数据 MOD 13Q1。MOD 13Q1 遥感影像数据是由美国对地观测计划 EOS/Terra 卫星携带的中分辨率成像光谱仪 MODIS(moderate resolution imaging spectro-radiometer)获取的,空间分辨率为 250 m。利用 MODIS MRT(modis reprojection tool)处理工具对 MOD 13Q1 数据进行镶嵌、数据格式转换、投影转换(投影坐标为 WGS_1984_UTM_Zone_47 N)。为减少 NDVI 数据系列的噪声^[16],采用国际上惯用的最大值合成法(MVC)对生长季 16 d 合成 NDVI 影像取最大值作为月 NDVI 数据。

气候数据来自中国气象科学数据共享服务网(<http://data.cma.gov.cn/>),包括清水河、石渠、达日、果洛、兴海、都兰、诺木兰、玛多和曲麻莱等 9 个气象站点 2000—2014 年的月气温和月降水量资料,运用 ArcGIS 的地统计分析模块对气象数据进行 Kriging 空间插值,生成与 NDVI 数据空间分辨率一致、投影相同的栅格数据。

1.2 研究方法

1.2.1 趋势分析 趋势分析是通过一组随时间变化的变量进行线性回归分析,从而预测其变化趋势的方法⁰。该方法可计算研究区域时段内每个栅格点 NDVI 的变化趋势,反映该区域植被 NDVI 变化的方向和速率^[3,17]。计算公式如式(1)所示。

$$\theta_{\text{slope}} = \frac{n \sum_{i=1}^n (i \times M_{\text{NDVI}_i}) - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n M_{\text{NDVI}_i}}{n \sum_{i=1}^n i^2 - \left(\sum_{i=1}^n i \right)^2} \quad (1)$$

式中: n ——监测年数; M_{NDVI_i} ——第 i 年生长季 NDVI 最大值; θ_{slope} ——NDVI 的回归斜率;如果 $\theta_{\text{slope}} > 0$,则说明在研究时间段中 NDVI 的变化趋势是增加,反之则减少, $\theta_{\text{slope}} = 0$ 说明 NDVI 没有变化。

1.2.2 偏相关分析 由于在实际地理系统中影响要

素因子比较多,一个要素的变化必然会引起其他各要素的变化,故研究某一要素对另一要素的影响时可用偏相关来表示两要素的密切程度。偏相关系数计算公式如式(2)所示。

$$r_{xy,z} = \frac{r_{xy} - r_{xz} \times r_{yz}}{\sqrt{(1 - r_{xz}^2)(1 - r_{yz}^2)}} \quad (2)$$

式中: $r_{xy,z}$ ——将变量 z 固定后变量 x 和变量 y 之间的偏相关系数,即 xy 相关中剔除了 z 的影响; r_{xy} , r_{xz} , r_{yz} ——变量 x 和 y , 变量 x 和 z , 变量 y 和 z 的相关系数如式(3)。

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

式中: n ——样本数; x_i, y_i —— x, y 两个变量第 i 年的值; \bar{x}, \bar{y} —— x 和 y 的均值。

偏相关系数显著性检验采用 t 检验方法,计算公式如式(4)。

$$t = \frac{r_{xy,z}}{1 - r_{xy,z}} \sqrt{n - m - 1} \quad (4)$$

式中: n ——样本数; m ——自变量个数。

1.2.3 复相关分析 研究几个要素与某一要素的密切程度可用复相关分析法实现。基于 NDVI 与降水和气温的复相关系数计算公式如式(5)所示。

$$r_{x,yz} = \sqrt{1 - (1 - r_{xy}^2)(1 - r_{xz,y}^2)} \quad (5)$$

复相关的显著性检验采用 F 检验法,计算公式如式(6)所示。

$$F = \frac{r_{x,yz}^2}{1 - r_{x,yz}^2} \times \frac{n - k - 1}{k} \quad (6)$$

式中: n ——样本数; k ——自变量个数。

2 结果与分析

2.1 玛多县植被 NDVI 时空变化特征

由玛多县 2000—2014 年 5—9 月 NDVI 值得到对应年生长季 NDVI 最大值和平均值。统计结果表明,近 15 a 玛多县植被 NDVI 最大值和 NDVI 平均值变化趋势基本一致,呈波动上升趋势(图 1)。其中 NDVI 均值、最大值都在 2003 年出现极小值分别为 0.28, 0.48, 在 2010 年出现极大值分别为 0.35, 0.55。其中 NDVI 最大值、均值在 2003 年前呈缓慢下降趋势,而后开始上升,2004—2007 年都没有明显的变化,在 2008 年 NDVI 最大值、均值都降低明显,2008—2010 年 NDVI 最大值、均值又都逐渐上升,在 2010 年后 NDVI 最大值、均值都降低、但变化趋势较稳定,植被覆盖没有明显变化。

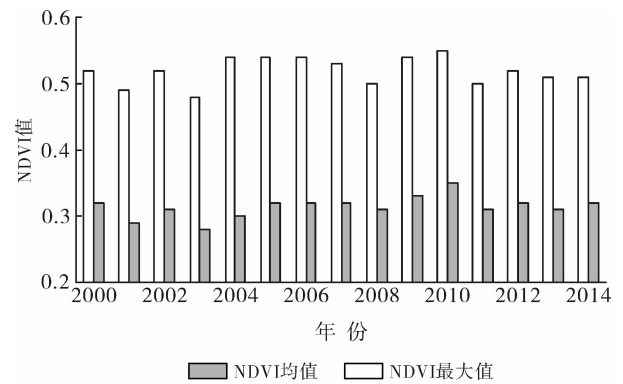


图 1 2000—2014 年玛多县植被 NDVI 变化趋势

同时,经统计玛多县生长季 NDVI 平均值、最大值的线性倾向率分别为 0.012/10 a, 0.004/10 a, 说明近 15 a 玛多县植被覆盖整体上表现呈增长趋势。

对每年生长季 5 期 NDVI 月合成数据取最大值,得到一年中植被覆盖的最佳状态,为了展示 NDVI 最大值空间分布,对 2000—2014 年的 NDVI 最大值取平均,得到 NDVI 最大值多年均值的空间分布图(图 2)。玛多县 NDVI 总体上表现出较强的空间异质性,NDVI 值整体由东南向西北呈递减趋势。受季风影响,玛多县东南部地区降水较多、热量丰富有较好的水热条件,植被生长对于水热条件的依赖性较强,玛多县气候因子自西北向东南存在明显的梯度变化,且有大面积的湿地,有利于植被生长,因此 NDVI 高值区主要分布在玛多县南部马查理镇和黄河乡地势较低和多湖泊地区,植被类型为高寒草甸;另外在玛多县东部花石峡镇内海拔相对较高地区也为 NDVI 高值区,植被类型为高寒草甸以及高山植被。而玛多县西北地区水热条件较差,土地类型主要为草原以及荒漠,所以 NDVI 低值主要分布在北部的扎陵湖乡和花石峡镇附近,植被类型以高寒草原为主;另外在研究区中部呈条带状分布的荒漠地区也为 NDVI 低值区,植被类型以高寒草原为主。

对研究区内逐栅格像元进行趋势分析,得到研究区 15 a NDVI 变化趋势的空间分布状况(图 2),在 ArcGIS 中采用标准差法对结果进行分类^[18],本文将研究区域划分为显著退化、轻微退化、基本不变、轻微改善和显著改善 5 个等级(表 1),以便更加直观的反映玛多县植被变化的空间差异。因在使用 ArcGIS 标准差分类时,以 1 倍标准差分类结果自动分为 6 类,即 $\text{slope} < -0.023 4$, $-0.023 4 < \text{slope} \leq -0.013 3$, $-0.013 3 < \text{slope} \leq -0.003 2$, $-0.003 2 < \text{slope} \leq 0.006 8$, $0.006 8 < \text{slope} \leq 0.016 9$, $0.016 9 < \text{slope} \leq 0.026 4$, 而 $\text{slope} < -0.023 4$ 和 $-0.023 4$

$\leq \text{slope} \leq -0.0133$ 这 2 个类型所占面积极少,故本文把这 2 类合并微调归为明显退化。

结果表明:NDVI 变化率格局为由东南向西北逐渐上升,2000—2014 年研究区植被覆盖显著退化区域占 0.58%,零星分布在玛多县西南部;轻微退化区域占 6.57%,主要分布在玛多县玛查理镇、黄河乡以及花石峡镇,海拔在 4 200~4 900 m,地势相对平坦,人口分布较集中;基本不变区域占总面积比重最大

(63.54%),全区均有分布;轻微改善区域占 28.96%,分布全区;显著改善区域占 0.35%,集中在扎陵湖和鄂陵湖周围。在研究时间段内,玛多县水、热条件变好,同时由于三江源国家自然保护区的建立,大量生态环境保护工程如退耕还草、退牧还草、鼠害治理等措施的实施,初见成效,对区内植被覆盖状况的改善发挥了积极作用。文中计算的所有面积百分比都不包含水域面积。

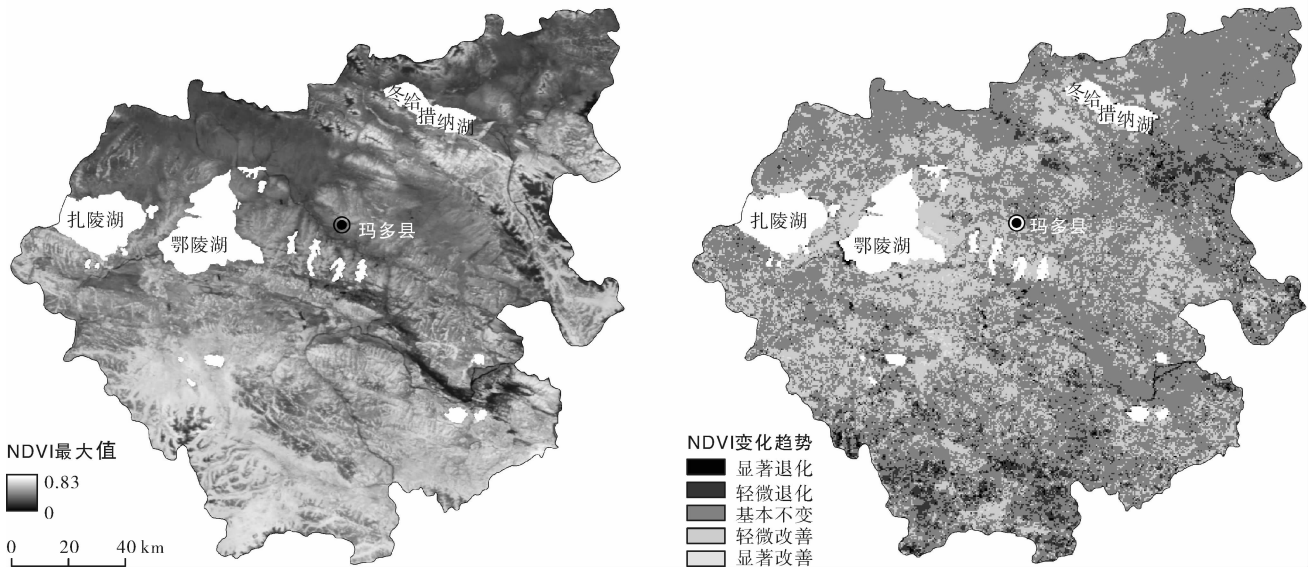


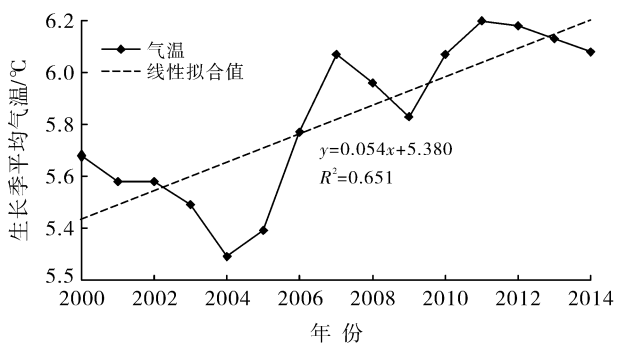
图 2 2000—2014 年玛多县植被 NDVI 最大值空间分布及变化趋势

表 1 玛多县 NDVI 变化趋势分类标准与结果统计

类型	变化范围	百分比/%
显著退化	$\text{slope} \leq -0.0133$	0.58
轻微退化	$-0.0133 < \text{slope} \leq -0.0032$	6.57
基本不变	$-0.0032 < \text{slope} \leq 0.0068$	63.54
轻微改善	$0.0068 < \text{slope} \leq 0.0169$	28.96
显著改善	$0.0169 < \text{slope} \leq 0.0264$	0.35

2.2 玛多县植被生长季 NDVI 与降水量、平均气温之间的关系及驱动分析

利用研究区玛多气象站点 1953—2014 年的气候



数据,采用 3 a 移动平均法得到研究区生长季平均气温和降水量趋势,近 62 a 玛多气象站生长季平均气温以 $0.22\text{ }^\circ\text{C}/10\text{ a}$ 速率升高,降水量以 $8.29\text{ mm}/10\text{ a}$ 速率增加。其中,2000—2014 年玛多县生长季气温和降水量增速均高于 20 世纪 50 年代以来历史水平(图 3)。

近 15 a,多年生长季平均气温为 $5.8\text{ }^\circ\text{C}$,平均多年生长季降水量为 300.1 mm 。生长季气温升高、降雨量增加,改善了区内水热条件,从而促使植被 NDVI 向增长趋势发展。

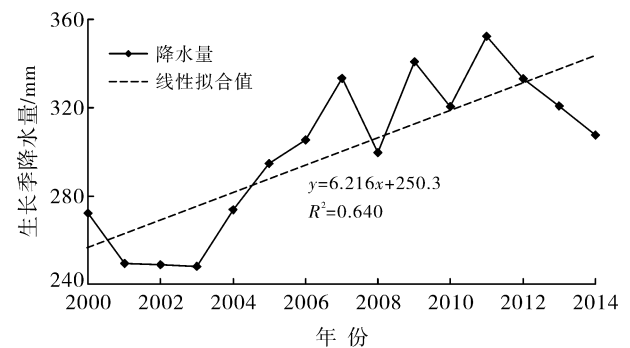


图 3 基于气象监测站点的区域生长季降水及平均气温均值变化趋势

为全面分析研究区植被 NDVI 与气候要素的关系,采用研究区周围 9 个气象站点的插值气象资料与 NDVI 开展逐像元相关分析,分别得到植被 NDVI 与生长季气温、降水量的偏相关、复相关系数。偏相关分析结果表明(图 4),研究区内植被 NDVI 与生长季平均气温呈正相关的区域占总面积的 92.77%(图 4a),说明生长季平均气温对植被的生长起促进作用,

其中通过 0.05 显著性检验水平的区域占 13.68%。NDVI 与生长季降水呈正、负相关的区域分别占 79.68%,20.32%,降水对研究区植被生长整体上表现为促进作用;其中通过 0.05 显著性检验的区域占 21.02%,主要分布在扎陵湖和鄂陵湖区(图 4b)。整体而言,玛多县植被 NDVI 与生长季气温和降雨量呈正相关关系,且对生长季降雨量的响应更为敏感。

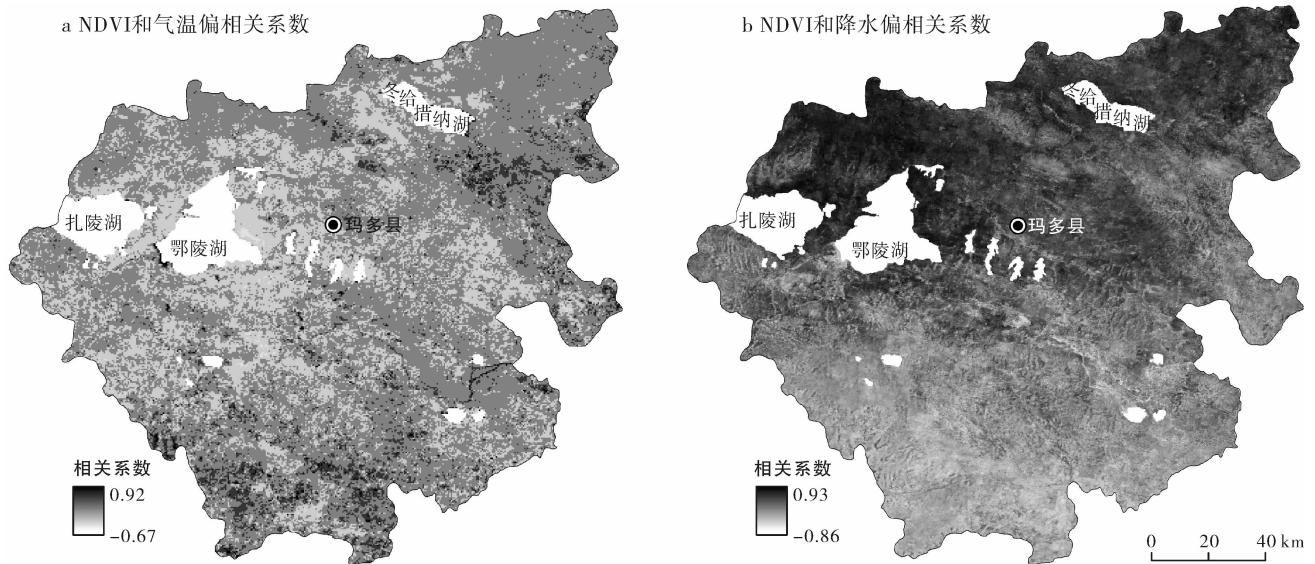


图 4 玛多县 NDVI 与生长季平均气温和降水量偏相关系数分布

参考国内众多学者研究的中国植被覆盖变化的驱动分区方法^[19],结合研究区的情况,对玛多县植被覆盖变化进行驱动分析。分类准则见表 2,分类结果见图 5。

表 2 植被覆盖驱动分区准则

NDVI 变化类型	分类准则		
	$r_{NDVI,T,P}$	$r_{NDVI,P,T}$	$R_{NDVI,TP}$
气温驱动型	$T \geq t_{0.05}$		$F \geq F_{0.05}$
降水驱动型		$T \geq t_{0.05}$	$F \geq F_{0.05}$
气温降水驱动型	$T \leq t_{0.05}$	$T \leq t_{0.05}$	$F \geq F_{0.05}$
非气候因子驱动型			$F \leq F_{0.05}$

注: $r_{NDVI,T,P}$ 、 $r_{NDVI,P,T}$ 分别为 NDVI 与气温、降水的偏相关系数; $R_{NDVI,TP}$ 表示 NDVI 与气温和降水的复相关系数; t 、 F 分别表示 t 、 F 检验的统计量值; $t_{0.05}$ 和 $F_{0.05}$ 分别为 t 检验和 F 检验的 0.05 显著性水平。

气温驱动型占研究区面积的 2.74%,以扎陵湖和鄂陵湖以北最为明显,该区以 NDVI 低值为主,土地类型主要为沙地和草地,植被类型为高寒草甸和高寒草原。降水驱动型占 9.72%,主要分布于扎陵湖、鄂陵湖附近,其它零星分布在研究区北部,主要为 NDVI 低值,土地类型主要为沙地和草地,植被类型

为高寒草甸以及高寒草原。

气温降水驱动型占 3.93%,零星分布在研究区的西南地区,主要为植被 NDVI 高值区,覆盖类型主要为灌木丛和高寒草甸。非气候因子驱动型所占比例最大为 83.61%,呈片状分布在研究区大部分地区。研究区属于放牧大县、人类活动频繁、鼠害严重^[12-14],非气候因子对植被覆盖变化的影响较大。

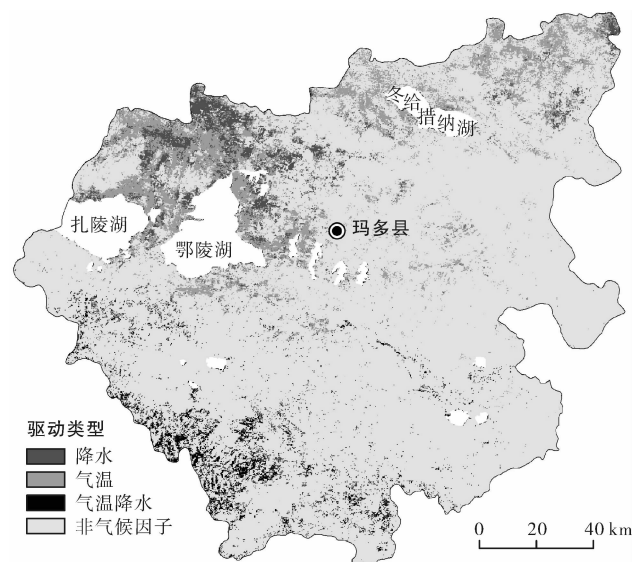


图 5 2000—2014 年玛多县植被覆盖变化驱动因子分布

受气温驱动以及降水驱动影响的地区主要分布在研究区北部,植被变化趋势类型以轻微改善为主。该区位于高海拔地区,生态环境相对较差;自 2004 年以来实施的生态移民等相关政策,这些地区受人类活动影响程度降低。受气温驱动地区分布着大量的沼泽湿地,表现为气温驱动为主;而受降水驱动的地区多为沙地和覆盖度低的草地,植被生长态势主要取决于降水。气温降水驱动型主要分布在研究区南部海拔较高的地区,受人类活动影响程度低,植被变化趋势以基本不变和轻微退化为主。

3 结论

(1) 2000—2014 年,玛多县 NDVI 整体呈上升趋势,增速为 0.012/10 a。植被覆盖率较大的地区主要分布在玛多县南部的马查理镇和黄河乡地势较低和多湖泊地区。植被覆盖率低的地区主要分布在玛多县北部扎陵湖乡和花石峡镇。玛多县 65.84% 的区域植被覆盖保持在基本不变的状态,改善区域(27.47%)大于退化的区域(6.69%)。

(2) 2000—2014 年玛多县气温、降水量均呈上升趋势。偏相关分析结果表明,研究区 NDVI 总体上与气温、降水呈正相关关系,其中 NDVI 与气温正相关中通过 0.05 显著性检验的区域占 13.68%,而与降水量呈正相关且通过 0.05 显著性检验的区域占 21.02%,说明生长季降水对研究区植被生长的影响略高于气温。

(3) 玛多县植被 NDVI 驱动因子分析结果表明,非气候因子驱动型占 83.61%,气温驱动型占 2.74%,降水驱动型占 9.72%,气温降水综合驱动型占 3.93%;2000—2014 年玛多县植被 NDVI 变化主要受非气候因子驱动。

本文以降水和气温作为气候驱动因子对玛多县进行驱动分析,在时间尺度上仅考虑了年际变化的水平,未将植被生长对水热条件的滞后性纳入考虑。故在以后的研究中,植被演变的因子分析应考虑到研究区域范围和研究的时间尺度,结合多种影响因子进行综合分析,以揭示植被覆盖变化的规律和原因。

[参 考 文 献]

- [1] 郭锐,朱燕君,王介民,等. 近 22 a 来西北不同类型植被 NDVI 变化与气候因子的关系[J]. 植物生态学报, 2008, 32(2): 319-327.
- [2] 杜加强,舒俭民,张林波. 1982—2006 年黄南州 NDVI 年际变化及其与气候的关系[J]. 水土保持通报, 2010, 30(4): 229-234.
- [3] Zhang Yili, Gao Jungang, Liu Linshan, et al. NDVI-based vegetation changes and their responses to climate change from 1989 to 2011: A case study in the Koshi River Basin in the middle Himalayas[J]. *Global and Planetary Change*, 2013, 108: 139-148.
- [4] Pettorelli N, Vik J, Mysterud A, et al. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological response to environmental change[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2005, 20(9): 503-510.
- [5] Ichii K, Kawabata A, Yamaguchi Y. 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] 周伟,王倩,章超斌,等. 黑河中上游草地 NDVI 时空变化规律及其对气候因子的响应分析[J]. 草业学报, 2013, 22(1): 138-147.
- [7] 花立民. 玛曲草原植被 NDVI 与气候和载畜量变化的关系分析[J]. 草业学报, 2012, 21(4): 224-235.
- [8] 王涛,沈渭寿,欧阳琰,等. 1982—2010 年西藏草地生长季 NDVI 时空变化特征[J]. 草地学报, 2014, 22(1): 46-51.
- [9] 徐浩杰,杨太保,曾彪. 黄河源区植被生长季 NDVI 时空特征及其对气候变化的响应[J]. 生态环境, 2012, 21(7): 1205-1210.
- [10] 张懿铨,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, 2006, 61(1): 3-14.
- [11] 张帅,邵全琴,刘纪远,等. 黄河源区玛多县土地利用/覆被及景观格局变化的遥感分析[J]. 地球信息科学, 2007, 9(4): 109-115.
- [12] 摆万奇,张懿铨,谢高地,等. 黄河源区玛多县草地退化成因分析[J]. 应用生态学报, 2002, 13(7): 823-826.
- [13] 张帅,邵全琴,刘纪远,等. 黄河源区玛多县草地覆被变化分析[J]. 资源科学, 2008, 30(10): 1547-1554.
- [14] 李凤霞,伏洋,李林,等. 黄河源头生态环境变化的遥感监测及驱动因素[J]. 生态环境, 2008, 17(6): 2297-2303.
- [15] 徐剑波,宋立生,赵之重,等. 近 15 a 来黄河源地区玛多县草地植被退化的遥感动态监测[J]. 干旱区地理, 2012, 35(4): 615-622.
- [16] 宋怡,马明国. 基于 SPOT VEGETATION 数据的中国西北植被覆盖变化分析[J]. 中国沙漠, 2007, 27(1): 89-93.
- [17] 赵志平,吴晓蕾,李果,等. 黄河源区高寒草地 NDVI 格局与梯度变化[J]. 草业科学, 2013, 30(12): 1917-1925.
- [18] 王永财,孙艳玲,王中良. 1998—2011 年海河流域植被覆盖变化及气候因子驱动分析[J]. 资源科学, 2014, 36(3): 594-602.
- [19] 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.