

文章编号: 1008-2786-(2019)4-499-09
DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000442

2000—2018 年那曲市植被 NDVI 变化及气候变化响应

拉巴¹, 拉珍¹, 拉巴卓玛^{2*}, 卓嘎²

(1. 西藏自治区气候中心, 拉萨 850001; 2. 西藏高原大气环境科学研究所, 拉萨 850001)

摘 要: 植被覆盖动态变化的监测对区域生态环境保护具有重要意义。本文基于 2000—2018 年 MODIS NDVI 产品和地面气象站点观测数据, 利用 MVC 最大值合成法、线性趋势分析法、Hurst 指数法分析了那曲市植被 NDVI 变化趋势, 并通过相关性、偏相关性分析法研究不同时间尺度和不同植被类型 NDVI 变化对气候因子的响应特征。研究表明: 近 19 年来那曲市植被 NDVI 总体上呈不显著减小趋势, 稳定状态的植被所占比重最大, 占 64.5%, 退化区面积略大于改善区面积, 但差距不大。另外, 高寒荒漠类、高山植被类和高寒草原类植被呈上升趋势, 其中高寒荒漠类植被上升趋势较显著 ($R^2 = 0.52, P < 0.05$), 其余两类呈微弱的上升趋势; 灌木类草地、高寒草甸类和针叶林类植被呈微弱的下降趋势。从可持续性来看, 植被 NDVI 处于不变弱反持续比重最大, 占 35.6%。持续退化和弱反持续改善型分别占全市面积的 7.42% 和 8.26%, 其他 4 种类型占总面积的 13.69%。从气候特征上看, 近年来那曲市以暖湿型气候为主, 这种气候特点有利于植被的生长和恢复。水热因素作为植被生长的两个重要因子, 在不同时间和空间尺度上对植被生长具有不同的特点, 即 NDVI 与月平均气温和月降水量间存在显著正相关性。

关键词: MODIS; NDVI; 气候因子; 那曲市

中图分类号: Q948; TP79

文献标志码: A

植被是陆地生态系统的重要组成部分, 连接着水体、大气、土壤, 是自然生态系统中最活跃的因子, 在维持生态系统稳定方面发挥着重要作用^[1]。近年来受全球气候变暖和人类活动影响, 全球陆地植被生态系统发生着不同程度和不同方式的变化。我国植被 NDVI 在 1982—2012 年间呈缓慢增长趋势, 且不同植被类型与气候因子的相关程度不同, 在不同空间尺度和地理位置上, 植被具有不同的变化特点和气候因子响应特点^[3-9]。青藏高原作为气候变化响应的敏感区和脆弱区备受关注。有研究指出 1982—2013 年青藏高原高寒草地生长季 NDVI 表现为从东南到西北逐渐减少的趋势, 整个高原草地生

长季 NDVI 呈上升趋势, 究其原因在于青藏高原草地与降水、温度的相关性具有明显的空间差异^[10]。也有学者对青藏高原整个区域, 不同生态地理分区植被 NDVI 的变化趋势, 以及植被变化对气候因子响应空间分异特征进行了分析^[11-19]。综上所述, 已有文献从大空间尺度的青藏高原到省、县一级都展开了详细的分析, 研究内容较为全面, 但是从卫星遥感数据源上看, 空间分辨率较低, 研究时段也较早, 特别是有关那曲市的研究, 进入 2010 年以后鲜有文献报道。此外, 在研究方法上也比较单一, 大部分都是仅利用趋势斜率分析法分析。

那曲市作为西藏自治区最大的牧区, 草原植被

收稿日期 (Received date): 2017-04-10; 改回日期 (Accepted date): 2019-06-05

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金项目 (41165002); 西藏自治区重点科技计划项目 (XZ201703-GA-01); 西藏自治区科技厅自然科学基金项目 (XZ2017ZRG-114)。[National Natural Science Foundation of China (41165002); Tibet Key Technology Plan (XZ201703-GA-01); Natural Foundation of Tibet Science and Technology Department (XZ2017ZRG-114)]

作者简介 (Biography): 拉巴 (1983-), 男, 西藏拉萨人, 硕士, 主要从事遥感应用方面的研究。[LA Ba, male, born in Lasa, Tibet Autonomous Region, M. Sc., research on remote sensing application] E-mail: xilaba@sohu.com

* 通讯作者 (Corresponding author): 拉巴卓玛 (1984-), 女, 西藏拉萨人, 硕士, 主要从事遥感应用方面的研究。[LA BA Droma, female, born in Lasa, Tibet Autonomous Region, M. Sc., research on remote sensing application] E-mail: 153373158@qq.com

资源占有率为 $3.42 \times 10^5 \text{ km}^2$, 占全市面积的 41.7%^[2]。由于特殊的地理位置和气候条件, 该区域生态环境十分脆弱, 研究该区域的植被覆盖动态变化监测对本区生态环境保护具有重要意义。本文作者在 2014 年也开展过相关研究工作^[20], 利用 GIMMS-NDVI 植被 NDVI 和气象数据进行了植被变化趋势及原因分析。但卫星数据空间分辨率上略显不足, 仅为 $8 \text{ km} \times 8 \text{ km}$, 进行定量分析时误差较大, 另外在趋势分析方面也未能给出对未来趋势预测的研究。

本文利用那曲市 2000—2018 年 MODIS 植被 NDVI 产品数据集, 采用 MVC 最大值合成法、Hurst 指数和趋势斜率法, 分析那曲市植被 NDVI 时空分布特征和变化趋势, 预测植被未来变化趋势, 为地方相关决策部门提供科学的参考依据。本文还结合研究区气象数据分析了不同植被类型与气象因子间的相关性和偏相关性, 以及植被与气候变化响应关系。

1 研究区概况

那曲市位于青藏高原腹地, 土地面积为 $4.46 \times 10^5 \text{ km}^2$, 占自治区总面积的 37.1%, 其中草地和林地共占全市面积的 94.63%, 是西藏面积最大的牧区。那曲市南部和日喀则市、拉萨市、林芝市接壤, 东接昌都市边坝县和丁青县, 西与阿里地区改则县和措勤县相连, 北部与新疆和青海毗邻 (图 1; $83^\circ 41' 14'' \sim 95^\circ 10' 46'' \text{ E}$, $30^\circ 27' 25'' \sim 35^\circ 39' 13'' \text{ N}$)。北部昆仑山脉东西横贯, 东北部为唐古拉山, 南部为

念青唐古拉山。中西部地形辽阔平坦, 多丘陵盆地, 丘陵多呈浑圆状; 湖泊星罗棋布, 河流纵横其间, 主要河流有怒江、扎加藏布、热振藏布、麦地藏布等, 湖泊有纳木错、色林错、昂孜错、格仁错、当热雍错、达则错、多格错仁等。东部属河谷地带, 多高山峡谷, 是藏北地区仅有的农作物区, 并有少量的森林和灌木草场, 其海拔为 $3500 \sim 4500 \text{ m}$; 该地区气候主要以寒冷干燥为主。年平均降水量 $247.3 \sim 513.6 \text{ mm}$, 年平均气温为 $-2.8^\circ \text{ C} \sim 1.6^\circ \text{ C}$ ^[21]。

2 数据及方法

2.1 数据

本文使用的遥感影像数据为 2000—2018 年植被指数产品 (MOD13Q1 V005 L3), 由 Land Processes DAAC 官方网站下载, 是 MODIS/TERRA 卫星植被指数合成产品数据集, 数据格式为标准的 EOS-HDF, 空间分辨率为 $250 \text{ m} \times 250 \text{ m}$, 时间分辨率为 16 日, 数据已经过大气辐射纠正和几何纠正处理。气象数据为那曲市 6 个气象站的常规观测数据, 包括气温、降水量和蒸发量。

2.2 数据处理

遥感数据拼接、NDVI 值提取、重采样等均在 NASA 网站下载的 MRT (MODIS Reprojection Tools) 软件中完成, 输出参数如下: 文件格式为 TIF, 重采样方法采用 Nearest Neighbor 法, 投影类型为 Geographic, 分辨率为 $250 \text{ m} \times 250 \text{ m}$ 。多年 NDVI 变化采用国际通用的最大值合成 (Maxim Value Composites, MVC) 法。对数据空间分析统计时, 利用 2001—2012 年 MCD12Q1.ver51 地表覆盖类型数据, 对研究区内水域和冰川作掩模处理。

NDVI 年际变化趋势斜率采用最小二乘模型, 公式如下:

$$b = \frac{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

式中, b 为趋势斜率; x 为年份; y 为年内最大 NDVI 值; \bar{x} 为年份平均值; \bar{y} 为近 19 年 NDVI 平均值。若 b 小于 0, 表示 NDVI 值减小, 反之, NDVI 值增大, b 的绝对值越大表示变化越显著。可以把变化趋势强度分五个等级: 显著减小 ($b \leq -0.006$)、轻微减小 ($-0.006 < b \leq -0.002$)、稳定 ($-0.002 < b \leq$

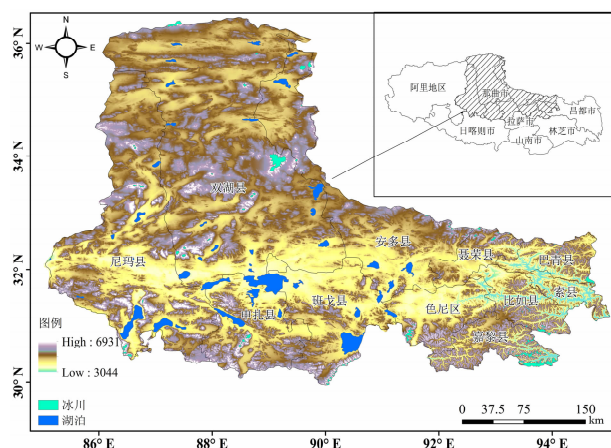


图 1 研究区地理位置

Fig. 1 Location of study area

0.002)、轻微改善($0.002 < b \leq 0.006$)、显著改善($b > 0.006$)。

Hurst 指数是定量描述时间序列信息长期依赖性的有效方法,在水文、气象等领域被广泛应用,其值为 $0 < H < 1$ 。其中,当 $0 < H < 0.5$ 时,表明某要素的时间序列未来变化趋势与过去不同,过去增加的趋势预示未来将减小,反之则增大,并且 H 越接近 0,这种反持续越强;当 $H = 0.5$ 时,时间序列信息为相互独立的随机序列;当 $0.5 < H < 1$ 时,该序列表现出长期依赖性,即未来的变化趋势与过去一致,并且 H 越接近 1,这种持续性越显著^[22-23]。

3 结果分析

3.1 NDVI 空间变化特征

由那曲市 11 个县植被 NDVI 空间分布特点可知,植被 NDVI 随海拔高度升高而逐步减小,空间上由西至东增大、由南向北减小(图 2)。具体来说,那曲市西北部的尼玛和双湖县大部、安多县北部、申扎和班戈县局部区域植被 NDVI 最低,NDVI 值大部分介于 $0 \sim 0.20$,植被类型以高寒草甸草原、高寒草原和高寒荒漠类居多,其中也包含无植被、植被稀少或荒漠区;尼玛县和双湖县植被 NDVI 在 $0.30 \sim 0.45$ 的区域范围很少,仅在两个县南部有少量分布;申扎、安多和班戈大部区域植被 NDVI 在 $0.30 \sim 0.45$ 间,也有一些区域植被 NDVI 值在 $0.45 \sim 0.60$ 间;那曲市东南部的 6 个县 NDVI 值总体大于 0.45,植被类型以高寒草甸为主。

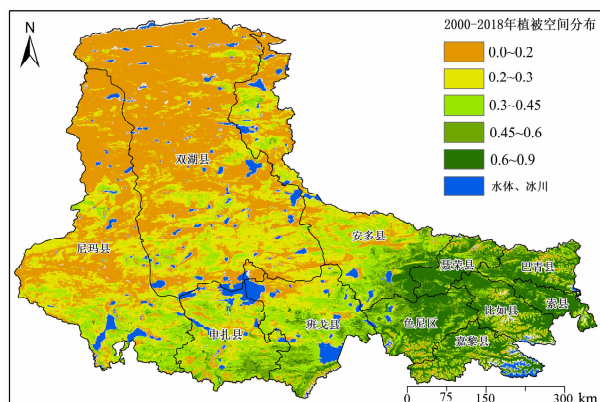


图 2 2000—2018 年那曲市植被 NDVI 的空间分布

Fig.2 Spatial distribution of NDVI during
2000 - 2018 in Nag Qu city

3.2 NDVI 时间变化特征

从那曲市年最大 NDVI 平均值变化趋势(图 3)可见,近 19 年来那曲市植被 NDVI 值在 $0.26 \sim 0.30$ 范围内变化,整体变化波动不大,总体呈不显著下降趋势。19 年平均值为 0.29,最高值为 2001 年的 0.31,最小值为 2015 年的 0.26。19 年内植被 NDVI 的变化可以分成 5 个阶段,即 2000—2004 年,NDVI 平均值为 0.30,处于波动振荡期,总体上植被 NDVI 趋势呈增长状态;2005—2007 年平均值为 0.29,与上一阶段相比有所下降,表明此阶段为植被生长较差的 3 年;2008、2009 两年植被 NDVI 平均值为 0.30,两年植被表现出较好的恢复态势;2010—2014 年植被 NDVI 变化波动性较大,平均值为 0.29,整体变化趋势呈不显著下降趋势;最后一个阶段是 2015—2018 年,其中 2015 年由于受到西藏全区大范围干旱的影响,植被长势较差,但之后三年的平均值达到 0.30,植被长势较好。

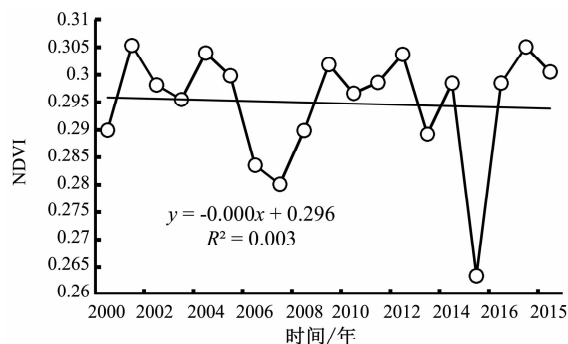


图 3 2000—2018 年那曲市植被 NDVI 变化趋势

Fig.3 Variation of NDVI during 2000 - 2018 in Nag Qu city

3.3 不同类型植被 NDVI 变化特征

利用中国植被类型数据,将那曲市植被分为八种类型,分别为高寒草甸类、高寒草原类、高寒荒漠类、高山植被类、灌丛类草地、针叶林类、裸露盐碱地和其他类型,另外研究区也有众多湖泊和冰川分布(图 4)。由于裸露盐碱地和其他类型的面积比重很小,因此,本文未分析这两类的 NDVI 变化特征。从空间分布上看,高寒草甸类植被主要分布于那曲南部和东南部区域;北部主要以高寒草原类植被为主,还包含少量高寒荒漠类植被;灌丛类草地、针叶林和高山植被主要分布于那曲的巴青、比如和嘉黎三县。

为了进一步研究那曲市不同植被类型 NDVI 值在时间上的变化趋势,本文对 2000—2018 年那曲市

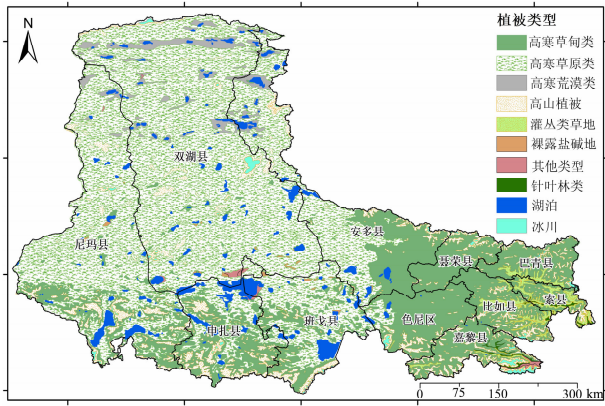


图 4 那曲市植被类型分布图

Fig. 4 Distribution of vegetation types in Nag Qu city

所占比重较大的六个植被类型年最大 NDVI 值进行趋势分析(图 5)。高寒荒漠类、高山植被类和高寒草原类植被呈上升趋势,其中高寒荒漠类植被上升趋势较显著($R^2 = 0.52, P < 0.05$),其余两类呈微弱的上升趋势;灌木类草地、高寒草甸类和针叶林类植被呈微弱的下降趋势。

3.4 植被 NDVI 趋势变化分析

利用趋势斜率法对那曲市 2000—2018 年植被 NDVI 变化趋势进行分析(图 6),那曲市植被 NDVI 总体上处于稳定态势,占全市总面积的 64.50%;轻

微减小和轻微改善区面积分别占全市面积的 15.99% 和 12.79%;显著退化和显著改善区面积所占比例较小,分别只有 3.86% 和 2.85%。分析各变化等级的空间分布特点发现,位于北部的尼玛县、双湖县和安多县大部植被以稳定为主,除安多县南部和北部有小块区域植被呈显著减小外,其余两县植被只有小面积的轻微减小区域,总体上还是以稳定和轻微改善居多。植被退化较为显著的县主要位于那曲中部和东南部,其中色尼区、聂荣县和班戈县中部退化趋势较为严重。其他地区植被稳定和改善的面积要明显大于退化的面积。

3.4.1 NDVI 趋势持续性分析

参考前人研究的结论和方法^[22-23],结合研究区 Hurst 指数分布情况将 Hurst 指数分为三类: $H \leq 0.35$ 的强反持续性, $0.35 < H < 0.5$ 的弱反持续性, $H > 0.5$ 的持续性, $H = 0.5$ 时,时间序列信息为相互独立的随机序列。根据那曲市 2000—2018 年 NDVI Hurst 指数可知,那曲市 Hurst 指数空间差异明显(图 7),Hurst 指数介于 0.09 ~ 0.95,平均值为 0.48,总体呈现弱反持续性,所占面积为 $1.73 \times 10^5 \text{ km}^2$,占全市面积 54.67%,表明 2018 年以后一定时期内那曲市植被将有所好转。其次是持续性,

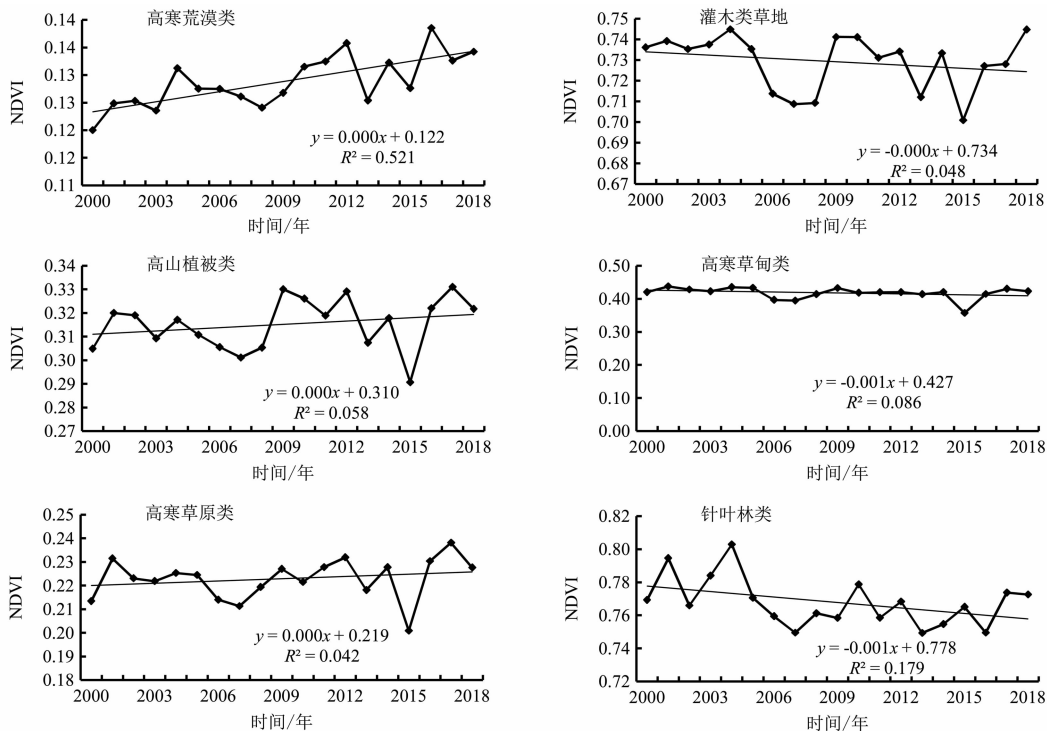


图 5 2000—2018 年那曲市不同类型植被 NDVI 的时间变化趋势

Fig. 5 Variation of NDVI with different types during 2000 - 2018 in Nag Qu city

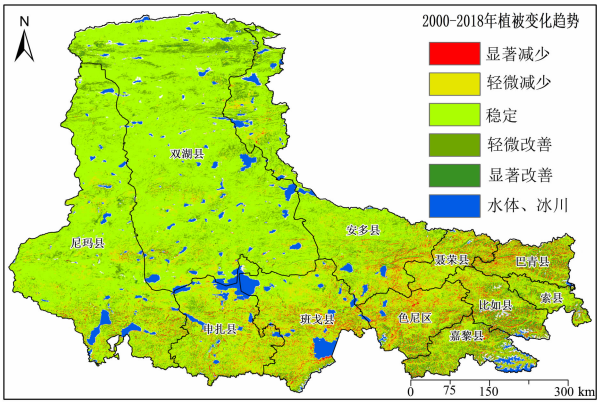


图 6 那曲市植被 NDVI 变化趋势图

Fig.6 Distribution of NDVI variation in Nag Qu city

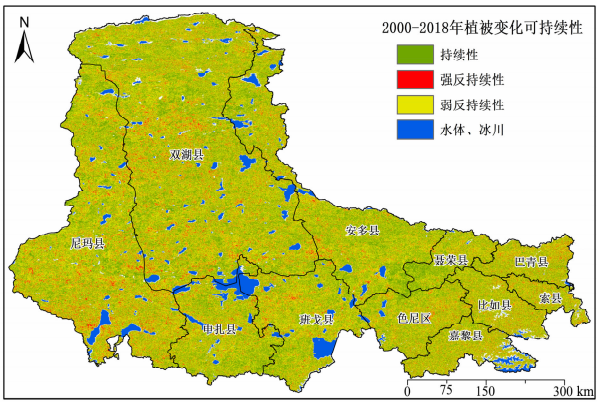


图 7 那曲市植被 NDVI 持续性分布特征

Fig.7 Persistent distribution of NDVI in Nag Qu city

面积为 $1.20 \times 10^5 \text{ km}^2$, 占全市面积 38.09%。强反持续性面积为 $2.29 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占全市面积的 7.24% (表 1)。以上三种类型在研究区内均有分布。其中, 呈持续性变化区域主要集中于色尼区、安多县和聂荣县三县交界处, 以及申扎和班戈县南部交界区, 另外在尼玛、双湖、申扎和安多县也有较大面积分布。强反持续性分布区域相对较少, 主要在双湖县北部、色尼区中部和尼玛县。弱反持续区域分布最广, 全市各县均有分布, 且较均匀。

表 1 2000—2018 年那曲市植被 NDVI 变化可持续性统计

Tab.1 The sustainability variation of NDVI during 2000 - 2018 in Nag Qu city

NDVI 持续性	面积/(10^4 km^2)	占全市面积比重/%
强反持续性	2.29	7.24
弱反持续性	17.30	54.67
持续性	12.04	38.09

为进一步研究那曲市植被 NDVI 变化趋势的可持续性, 将植被 NDVI 趋势斜率与 Hurst 指数计算结果叠加, 得到耦合结果 9 种类型 (图 8 和表 2), 可以看出 NDVI 处于以下 3 种类型所占面积最大: 不变弱反持续、持续不变、退化弱反持续, 分别占全市面积的 35.6%, 24.19%、10.84%。持续退化和改善弱反持续分别占 7.42% 和 8.26%, 改善强反持续、改善持续、不变强反持续、退化强反持续共占总面积的 13.69%。空间上, 持续退化区域集中于色尼区、安多和聂荣县三县交界区域, 而改善弱反持续区域主要分布于那曲市东部区域。退化反持续区域集中在尼玛和安多县南部, 申扎和班戈县, 北部主要以不变弱反持续和不变持续为主。

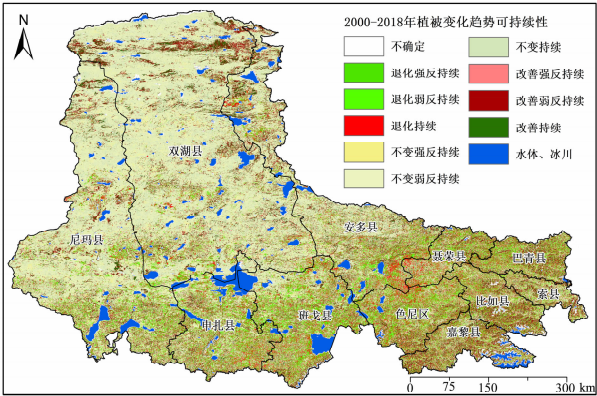


图 8 那曲市植被 NDVI 趋势可持续性分布

Fig.8 Sustainability distribution of NDVI variation in Nag Qu city

表 2 2000—2018 年那曲市植被 NDVI 变化综合特征统计

Tab.2 Comprehensive feature of NDVI during 2000 - 2018 in Nag Qu city

NDVI 变化趋势持续性	面积/(10^4 km^2)	占全市面积比重/%
改善强反持续性	0.27	0.87
改善弱反持续性	2.59	8.26
改善持续性	2.02	6.44
不变强反持续	1.52	4.85
不变弱反持续	11.15	35.60
不变持续	7.58	24.19
退化强反持续	0.48	1.53
退化持续	2.32	7.42

3.5 气候因子分析

分析 1970—2017 年那曲市 6 站年平均气温、年降水量和年平均蒸发量 (图 9), 近 48 年那曲市年平均气温呈显著上升趋势 ($R^2 = 0.58, P < 0.001$), 平

均气温为 $-0.22\text{ }^{\circ}\text{C}$; 1997 年那曲市发生大范围雪灾, 气温达到近 48 年最低值 $-2.05\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2017 年达到 48 年内最大值 $1.14\text{ }^{\circ}\text{C}$, 近 48 年内气温以 $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 升高。水分条件对植被的生长也起着重要作用, 降水量作为植被重要的水分来源, 能直接被土壤吸收。近 48 年来那曲市年降水量呈增加趋势 (图 10), 48 年 6 站年降水量平均值为 478.43 mm , 其中 2008 年达到最大值 628.11 mm , 最低值为 2015 年的 333.27 mm , 近 48 年内年降水量以 $17.10\text{ mm}/10\text{ a}$ 增加。植被的蒸腾作用对蒸发量也有一定影响, 分析近 45 年 (1973—2017 年) 来那曲市 6 站年平均蒸发量可知 (图 11), 过去 45 年, 那曲市蒸发量呈显著减小趋势 ($R^2=0.63$, $P<0.001$), 45 年平均值为 137.80 mm , 1975 年达到最大值 163.72 mm , 最低值为 2016 年的 115.08 mm 。总体来看, 近年来那曲市气候以气温上升、降水量增加和蒸发量减少的暖湿型气候为主, 这种气候特点有利于植被的生长和恢复。

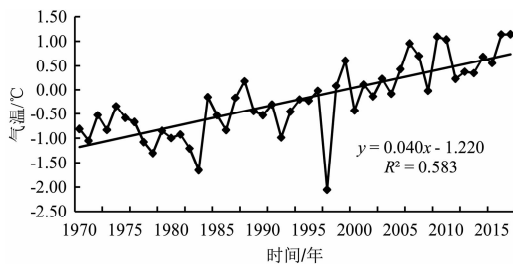


图 9 那曲市年平均气温变化趋势

Fig. 9 Variation of annual temperature in Nag Qu city

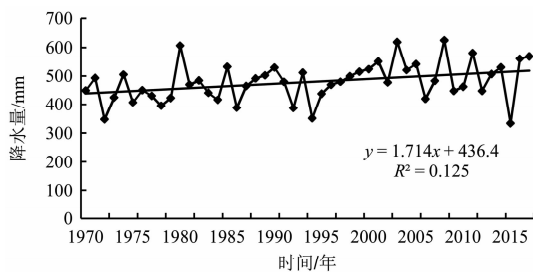


图 10 那曲市年降水量变化趋势

Fig. 10 Variation of annual precipitation in Nag Qu city

(1) 植被 NDVI 与气候因子的关系

分析降水量和气温与 NDVI 的相关性。降水作为植被生长所必需的要素, 对植被生长有较为显著的影响, 因此, 本文对两年累积降水量与 NDVI 之间做了相关性分析, 结果显示两年累积降水量与 NDVI 间存在显著的正相关性, $R = 0.63$, $P < 0.01$,

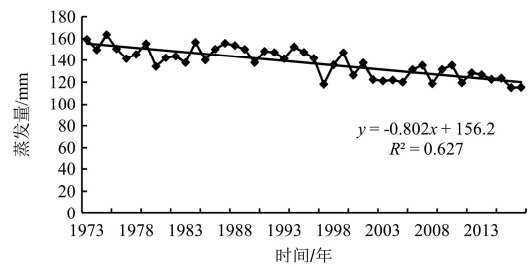


图 11 那曲市年平均蒸发量变化趋势

Fig. 11 Variation of annual evaporation in Nag Qu city

$t = 2.9421$, 95% 置信区间为 $(0.18, 0.86)$ 。而气温与 NDVI 呈不显著的正相关, 在控制了其他影响因素后, 二者的偏相关系数也只有 0.17, 未通过显著性检验。分析月 NDVI 最大值与气象数据的相关性, 得到如下结论, NDVI 与月平均气温和月降水量间存在显著正相关性, 相关系数分别为 0.88 ($P < 0.05$)、0.94 ($P < 0.001$)。

由于高原植被生长季主要集中在 5—9 月份, 因此本文对 5—9 月植被 NDVI 指数做了最大化提取, 并与同期的植被生长季降水量和平均气温做了相关分析, 结果发现: 5—9 月植被最大 NDVI 值与气温呈负相关, 相关系数 $R = -0.19$; 与降水量呈正相关, 相关系数 $R = 0.11$; 与两年累积降水量呈正相关, $R = 0.68$ ($P < 0.01$)。另外, 分析了植被生长的三个阶段, 即生长初期、中期和后期的植被 NDVI 与同期的气温和降水量的相关性, 有如下结论: 在植被生长前期 (五六月份), 温度对植被的生长起主导作用, 呈正相关, $R = 0.82$ ($P < 0.001$), 植被生长初期 NDVI 与降水量呈负相关, $R = -0.43$ ($P < 0.10$); 在植被生长中期 (七八月份), 温度和降水与植被 NDVI 的相关性较弱, 其中, NDVI 与温度呈负相关, $R = -0.28$ ($P < 0.5$), 与降水量呈弱相关; 在植被生长后期 (九月份), NDVI 与温度呈正相关 $R = 0.56$ ($P < 0.01$), 与降水量呈弱相关。

(2) 不同植被类型 NDVI 与气象因素的关系

由于不同植被类型对气候因子响应有所差别, 因此本文分析了 6 种植被类型与气候因子的关系 (表 3)。其中高寒荒漠类植被与气温相关性较好, 相关系数和偏相关系数分别为 0.55 和 0.56 ($P < 0.05$), 与降水量的相关性不显著, 说明高寒荒漠类植被对温度响应更为敏感; 灌丛类植被受降水量的影响略大于气温; 高山植被和高寒草原类植被对气温和降水量的响应均比较显著, 表明这两类植

被生长受气温和降水量协同作用显著,即水热条件缺一不可。高寒草甸类植被与降水量呈显著相关,相关系数和偏相关系数分别为 0.60 和 0.58 ($P<0.01$),说明水分因子对该类植被的贡献巨大;针叶林和灌丛类植被随气温和降水量的变化并不大,说明受气候因素的影响较小,植被 NDVI 值相对稳定,二者中灌丛类植被受水分影响相对较大。

表 3 NDVI 与气象要素间的相关分析
Tab. 3 Correlation coefficients between NDVI and climatic factors

植被类型	相关系数		偏相关系数	
	气温	降水量	气温	降水量
高寒荒漠	0.55 ^④	-0.05	0.56 ^④	0.13
灌丛	-0.14	0.29 ^①	-0.07	0.26 ^①
高山植被	0.33 ^②	0.21 ^①	0.42 ^③	0.33 ^②
高寒草甸	-0.19 ^①	0.60 ^⑤	-0.04	0.58 ^⑤
高寒草原	0.19 ^①	0.52 ^④	0.40 ^③	0.61 ^⑤
针叶林	-0.37 ^②	0.16	-0.34 ^②	0.07

注:①、②、③、④、⑤ 分别表示 $P<0.50$, $P<0.20$, $P<0.10$, $P<0.05$, $P<0.01$ 。

4 结论及讨论

基于 2000—2018 年 MODIS NDVI 数据集和那曲市 6 个气象站气象数据,本文分析了那曲市近 19 年内植被 NDVI 时空变化特征,不同类型植被时间变化趋势,以及植被类型与气候因子的响应关系,主要得出以下结论:

(1)那曲市植被 NDVI 在空间分布上由西向东,随海拔高度减小而逐步增大。其中高值区位于东南部的嘉黎、巴青、比如和索县,低值区在西部的尼玛、班戈、申扎、安多和双湖县。

(2)近 19 年来那曲市植被总体上呈不显著下降趋势。植被 NDVI 处于稳定状态面积比重最大,占 64.50%。总体上植被退化区面积仍大于改善区面积,分别占全市面积的 19.85% 和 15.64%。不同类型的植被中,高寒荒漠类、高山植被类和高寒草原类植被呈上升趋势,高寒荒漠类植被上升趋势较显著 ($R^2=0.52$, $P<0.05$),其余两类呈微弱的上升趋势;灌木类草地、高寒草甸类和针叶林类植被呈微弱的下降趋势。空间上,植被稳定区域主要集中于那曲市中部和北部区域,而退化区域主要出现在以色

尼区为中心的周边区域,改善区主要在双湖北部,嘉黎、比如和巴青县。

(3)从未来植被变化趋势预测可以看出植被 NDVI 处于不变弱反持续占的面积最大,占 35.60%。持续退化和改善弱反持续分别占全市面积的 7.42% 和 8.26%,其余 4 种类型占总面积的 13.69%。空间上,持续退化区域集中于色尼区、安多和聂荣县三县交界区域,而改善弱反持续区域主要分布于那曲市东部区域。退化反持续区域集中在尼玛和安多县南部、申扎和班戈县,北部主要以不变弱反持续和不变持续为主。

(4)植被与气候因子响应方面,不同植被类型生长状况均与多种气象因素协同作用有关。其中水热因素作为植被生长的两个重要因子,在不同时空尺度上对植被生长产生不同的作用,如 NDVI 与月平均气温和月降水量间存在显著正相关性。

植被生长季 NDVI 与气温呈负相关,与降水量呈正相关,与两年累积降水量呈正相关,且相关性较高,说明降水量对植被生长存在一定的滞后性。不同植被类型对气候因子响应也有所差别,高寒荒漠类植被对温度响应更为敏感,而灌丛类植被受降水量的影响略大于气温;高山植被和高寒草原类植被受气温和降水量协同作用显著,即水热条件缺一不可;高寒草甸类植被对水分因子响应显著;针叶林和灌丛类植被受气候因素的影响较小。

参考文献 (References)

[1] 孙红雨,王长耀,牛铮,等. 中国地表植被覆盖变化及气候因子关系——基于 NOAA 时间序列数据分析[J]. 遥感学报,1998, 2(3):204-210. [SUN Hongyu, WANG Changyao, NIU Zheng, et al. Analysis of the vegetation cover change and the relationship between NDVI and environmental factors by using NOAA time series data [J]. Journal of Remote Sensing, 1998, 2(3): 204-210]

[2] 西藏自治区土地管理局,西藏自治区畜牧局. 西藏自治区草地资源[M]. 北京: 科学出版社,1994: 369-371. [Bureau of Land Management of Tibet, Animal Husbandry Bureau of Tibet, China. The Tibet autonomous region grassland resources [M]. Beijing, Science press, 1994:369-371]

[3] 朴世龙,方精云. 1982—1999 年我国陆地植被活动对气候变化响应的季节差异[J]. 地理学报,2003,58(1):119-125. [PIAO Shilong, FANG Jingyun. Seasonal changes in vegetation activity in response to climate changes in China between 1982 and 1999 [J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(1): 119-125]

[4] 周伟,刚成诚,李建龙,等. 1982—2010 年中国草地覆盖度的时

- 空动态及气候变化响应[J]. 地理学报, 2014, **69**(1): 15–30. [ZHOU Wei, GANG Chengcheng, LI Jianlong, et al. Spatial-temporal dynamics of grassland coverage and its response to climate change in China during 1982–2010 [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, **69**(1): 15–30]
- [5] JIANG Weiguo, YUAN Lihua, WANG Wenjie, et al. Spatio-temporal analysis of vegetation variation in the Yellow River Basin [J]. *Ecological Indicators*, 2015, **51**: 117–126.
- [6] FENSHOLT R, LANGANKE T, RASMUSSEN K, et al. Greenness in semi-arid areas across the globe 1981–2007 — an Earth Observing Satellite based analysis of trends and drivers [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2012, **121**(2): 144–158.
- [7] 王茜, 陈莹, 阮玺睿, 等. 1982—2012 年中国 NDVI 变化及其与气候因子的关系[J]. 草地学报, 2017, **25**(4): 691–700. [WANG Qian, CHEN Ying, RUAN Xirui, et al. The changes of NDVI in China from 1982 to 2012 and its relationship with climatic factors [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2017, **25**(4): 691–700]
- [8] 刘宇, 朱源. 20 世纪 80 年代以来长江流域植被变化的速度和格局[J]. 三峡生态环境监测, 2016, **1**(2): 39–43. [LIU Yu, ZHU Yuan. Vegetation change of Yangtze river basin since 1980s: pattern and change rate [J]. *Ecology and Environmental Monitoring of Three Gorges*, 2016, **1**(2): 39–43]
- [9] 贺振, 贺俊平. 近 32 年黄河流域植被覆盖时空演变化遥感监测[J]. 农业机械学报, 2017, **48**(2): 179–185. [HE Zhen, HE Junping. Remote sensing on spatio-temporal evolution of vegetation cover in the Yellow River basin during 1982–2013 [J]. *Transaction of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2017, **48**(2): 179–185]
- [10] 刘洋, 李诚志, 刘志辉, 等. 1982—2013 年基于 GIMMS-NDVI 的新疆植被覆盖时空变化[J]. 生态学报, 2016, **36**(19): 6198–6208. [LIU Yang, LI Chengzhi, LIU Zhihui, et al. Assessment of spatio-temporal variations in Xinjiang from 1982 to 2013 based on GIMMS-NDVI [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, **36**(19): 6198–6208]
- [11] 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. [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]
- [12] PETTORELLI N, VIK J O, MYSTERUD A, et al. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2005, **20**(9): 503–510.
- [13] 陆晴, 吴绍洪, 赵东升. 1982—2013 年青藏高原高寒草地覆盖变化及与气候之间的关系[J]. 地理科学, 2017, **37**(2): 292–300. [LU Qing, WU Shaohong, ZHAO Dongsheng. Variations in alpine grassland cover and its correlation with climate variables on the Qinghai-Tibet plateau [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, **37**(2): 292–300]
- [14] 钱拴, 毛留喜, 侯英雨, 等. 青藏高原载畜能力及草畜平衡状况研究[J]. 自然资源学报, 2007, **22**(3): 389–397. [QIAN Shuan, MAO Liuxi, HOU Yingyu, et al. Livestock carrying capacity and balance between carrying capacity of grassland with added forage and actual livestock in the Qinghai-Tibet plateau [J]. *Journal of Natural Resources*, 2007, **22**(3): 389–397]
- [15] 张戈丽, 欧阳华, 张宪洲, 等. 基于生态地理分区的青藏高原植被覆盖变化及其对气候变化的响应[J]. 地理研究, 2010, **29**(11): 2004–2016. [ZHANG Geli, OUYANG hua, ZHANG Xianzhou, et al. Vegetation change and its responses to climatic variation based on eco-geographical regions of Tibetan Plateau [J]. *Geographical Research*, 2010, **29**(11): 2004–2016]
- [16] 张晓克, 鲁旭阳, 王小丹. 2000—2010 年藏北申扎县植被 NDVI 时空变化与气候因子的关系[J]. 山地学报, 2014, **32**(4): 475–480. [ZHANG Xiaoke, LU Xuyang, WANG Xiaodan. 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 [J]. *Mountain Research*, 2014, **32**(4): 475–480]
- [17] 毛飞, 张艳红, 侯英雨, 等. 藏北那曲地区草地退化动态评价[J]. 应用生态学报, 2008, **19**(2): 278–284. [MAO Fei, ZHANG Yanhong, HOU Yingyu, et al. Dynamic assessment of grassland degradation in Naqu of northern Tibet [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, **19**(2): 278–284]
- [18] 张建国, 刘淑珍, 李辉霞, 等. 西藏那曲地区草地退化驱动力分析[J]. 资源调查与环境, 2004, **25**(2): 116–122. [ZHANG Jianguo, LIU Shuzhen, LI Huixia, et al. Analysis on the retrogression of the pasture in Naqu prefecture, Tibetan Autonomous Region [J]. *Resources Survey & Environment*, 2004, **25**(2): 116–122]
- [19] 王亚军, 魏兴琥, 杨萍. 超载放牧对那曲地区高山嵩草甸植被退化的影响[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2005, **41**(1): 32–38. [WANG Yajun, WEI Xinghu, YANG Ping. Effects of over-grazing on vegetation degradation of Kobresia Pygmaea meadow in Nagqu, Tibet [J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 2005, **41**(1): 32–38]
- [20] 拉巴, 拉巴卓玛, 德吉央宗, 等. 1982—2014 年藏北地区植被 NDVI 变化特征及驱动因素[J]. 草业科学, 2018, **35**(4): 726–736. [LHA Ba, LHABA Droma, DEKEY Yangzom. Change in NDVI of northern Tibet and root cause analysis from 1982 to 2014 [J]. *Pratacultural Science*, 2018, **35**(4): 726–736]
- [21] 星球地图出版社. 西藏自治区地图册[M]. 北京: 星球地图出版社, 2013: 1–155 [Star Map Press. Tibet atlas[M]. Beijing: Star Map Press, 2013: 1–155]
- [22] 邓兴耀, 姚俊强, 刘志辉. 基于 GIMMS NDVI 的中亚干旱区植被覆盖时空变化[J]. 干旱区研究, 2017, **34**(1): 10–19. [DENG Xingyao, YAO Junqiang, LIU Zhihui. Spatiotemporal dynamic change of vegetation coverage in arid regions in central Asia based

- on GIMMS NDVI [J]. Arid Zone Research, 2017, 34 (1): 10 – 19]
- [23] 牟乐, 卢奕晓, 杨惠敏, 等. 1981—2015年中国西北牧区植被覆盖的时空变化[J]. 干旱区研究, 2018, 35 (3): 615 – 623.
- [MOU Le, LU Yixiao, YANG Huimin, et al. Spatiotemporal variation of vegetation cover in the pastoral area in northwestern China during the period of 1981 – 2015 [J]. Arid Zone Research, 2018, 35 (3): 615 – 623]

NDVI Change and Its Response to Climate Change in Nag Qu City during 2000 – 2018

LA Ba¹, LA Zhen¹, LA Ba Droma^{2*}, ZHUO Ga²

(1. Climate Center of Tibet Autonomous Region, Lhasa 850001, China;

2. Tibet Institute of Plateau Atmospheric and Environmental Science, Lhasa 850001, China)

Abstract: The dynamic monitoring of vegetation coverage plays an important role in the protection of regional ecological environment. Based on NDVI of MODIS products and meteorological observations during 2000 – 2018, along with analytical methods to be used including MVC maximum synthesis, linear tendency analysis, Hurst index, correlation coefficient and partial correlation coefficient, in this research it studied the distribution of NDVI with different time scales and vegetation types and its corresponding characteristics to the climatic factors in Nag Qu city, Tibet, China. Results showed that NDVI had presented slightly decreasing tendency in the past 19 years. The proportion of stable vegetation occupied the maximum area accounting for 64.5%. The coverage of degraded vegetation was slightly larger than that of improved vegetation. Furthermore, the distribution of vegetation was different with various types. The vegetation in cold desert, alpine vegetation, and alpine grassland presented increasing tendency, and the tendency was quite obvious for alpine desert ($R^2 = 0.52$, $P < 0.05$) among them, while the vegetation of shrub grassland, alpine meadow, and the coniferous forest was on the decline slightly. Considering the sustainability, continuous degradation and weak anti-continuous improvement areas accounted for 7.42% and 8.26% of the whole city respectively, while the other four types accounted for 13.69%. In recent years, climate change exhibited a “warm and humid” trend over Nag Qu city which was beneficial for the growth and improvement of vegetation. As main factors for vegetation growth, water and heat had different influence on the vegetation at various spatial and temporal scale. Namely, the NDVI was closely positive to monthly temperature and precipitation.

Key words: MODIS; NDVI; Meteorological factor; Nag Qu city