

中国藏北高寒生态遥感植被变化及成因分析*

张佳华^{1,2}, 姚凤梅^{3,4}, 郑凌云¹

(1. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 2. 国土资源部土地利用重点实验室, 北京 100035;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 4. 上海大学遥感与空间信息中心, 上海 200072)

摘要: 利用 NOAA/AVHRR-NDVI 遥感数据研究了近 20 年藏北高寒生态系统植被变化趋势, 发现藏北植被覆盖呈现出东部高, 西部低的态势; 依次是农作区和森林区 > 高寒草甸 > 高寒草原 > 高寒荒漠草原。空间分布显示 NDVI 显著增加或减少的区域分布在地势比较低的东部和中部地区的森林区和高寒草甸区, 在海拔较高的西部地区的高寒荒漠草原 NDVI 变化趋势处于轻微变化或无变化。分析造成植被变化的气候原因(温度、降水、风)和人为原因, 认为不同区域植被动态变化的主导因素不同; 藏北东部地区, 植被变化受人类活动因素影响比较显著; 中部地区, 同期气候条件有所改善, 植被覆盖呈增加趋势, 年平均最低温度和降水对植被生长具有正效应, 而风力和辐射减少引起该区植被蒸散下降也有利于植被生长。藏北地区西部为无人区, 不受人类活动太大的影响, 因而藏北西北部的植被变化可能更多的表现出藏北高原植被的自然变动。

关键词: 藏北高寒生态; 植被动态; 遥感; NOAA/AVHRR; 气候变化; 人类活动

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579(2009)05-0143-05

Vegetation Variations and Causes in Alpine Ecosystem of the Northern Tibet Plateau Based on Remote Sensing

ZHANG Jiahua^{1,2}, YAO Fengmei^{3,4}, ZHENG Lingyun¹

(1. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081;

2. Key Laboratory of Land Use, Ministry of Land and Resource, Beijing 100035, China;

3. The Graduated School of Chinese Academy of Science Sciences, Beijing 10049, China;

4. Remote Sensing and Space Information Research Center of Shanghai University,
Shanghai 200436, China)

Abstract: The spatial and temporal variations of the vegetation were investigated in the in alpine ecosystem of the Northern Tibet Plateau (NTP) using NOAA/AVHRR NDVI satellite data with 8 km spatial resolution from 1981 to 2001. The results show that significant increase and decrease of VP-NDVI occurred in the central and eastern NTP. Weak VP-NDVI dynamic appeared in the western and northwestern NTP. The relationships between Vegetation Peak-Normalized Difference Vegetation Index (VP-NDVI) and climate variables (temperature, precipitation, wind speed) were analyzed in the NTP. An obviously negative correlation between VP-NDVI and evapotranspiration was found in sub-frigid, semi-arid and frigid-arid regions of the NTP because of the decline of wind speed and solar radiation. The annual minimum temperate and precipitation have positive effect on vegetation growth in this region. In temperate-humid, sub-frigid and sub-humid regions of the NTP, significant correlation between VP-NDVI and population indicates that human activities have adversely affected the grassland condition as was previous-

* 收稿日期: 2008-11-01

基金项目: 国土资源部土地利用重点实验室基金资助项目; 国家自然科学基金资助项目(40641003); 863 计划基金资助项目(2006AA10Z213); 科技部基金资助项目项目(2006BAD04B04, 2006GB24160430)

作者简介: 张佳华(1966年生), 男, 研究员, 博士生导师; 通讯作者: 姚凤梅, Email: yaofm@gucas.ac.cn

ly reported in the literature. Results from this research suggest that the alteration and degradation of the grassland in the lower altitude of the NTP over the last two decades of the 20th century are likely caused by variations of climate and anthropogenic activities.

Key words: alpine ecosystem of NTP; vegetation variation; remote sensing information; NOAA-AVHRR; climate change, human activities

我国特有的藏北高寒草地是全球变化区域响应的先兆区和敏感区。其大地形和热力作用对我国长江中下游地区、西北内陆干旱地区,乃至全球气候和生态环境变化影响明显^[1-4]。作为全球变化影响东亚地区重要的先兆区和先期触发响应区,藏北高原地区具有长期监测和预测研究价值。近年来,卫星遥感技术已成为植被和土地利用和退化研究的重要手段。然而目前对藏北高寒草地植被多年动态研究,以及气候变化等对草地动态变化研究还很有限。本文基于多年卫星遥感资料和气候信息分析研究区多年植被动态,以及气候变化和人类活动对藏北高寒草地生态系统影响;从而揭示该区植被覆盖时空变化,探讨植被动态变化的成因和驱动力。

1 研究区概况

藏北那曲地区位于西藏的北部(29°55′-36°30′N, 83°55′-95°05′E),总面积39.54万km²,占西藏总土地面积的32.82%。年平均气温在-2.9~-3.4℃之间,年平均降水量298.6~708.4mm,受大气环流和地形的共同影响,降水总体分布呈由东向西、由南向北递减的趋势。降水量最多的区域是嘉黎一带,年总降水量最高达到957.8mm,降水最少的在西北部。年内降水的80%以上都集中在5-9月,冬春季降水不足,因而7-9月为高原植被生长期;每年10月中旬至次年5月中旬为积雪期和土壤冻结。8级以上大风日数年均由东南部的43天向西北部的151天逐渐增多;境内主要气象灾害包括霜冻、雪灾、冰雹及强降温、大风、干旱等。研究区的气候具有冬季寒冷且多大风(沙),夏季不热,日温差大、空气稀薄、大气干洁、太阳辐射强烈等特点。

2 研究数据与方法

2.1 MVC-NDVI数据

遥感数据采用美国NASA Pathfinder AVHRR陆地数据集的8km空间分辨率的旬NDVI数据,时间从1981-2001年。归一化植被指数(Normalized Difference Vegetative Index, NDVI),与绿色叶片生

物量、叶面积指数、植物光合能力、植物总的干物质积累以及年净初级生产力等均有很好的相关性^[5-8]。因此,NDVI常被直接或间接地用于研究植被活动。在本文中NDVI趋势研究应用了NDVI第三代产品,其数值在0~254,该产品在一定程度上解决了NDVI对于陆地目标饱和的问题,拉伸了NDVI对陆地目标的有效值域。旬NDVI数据是通过MVC法^[9](最大值合成, Maximum Value Composite)获得的。该方法通过云检测、质量检查消除了最受云和大气、太阳高度角影响的像元。并假设每旬中NDVI最大值作为旬NDVI值。

2.2 多年植被动态变化研究方法

半干旱地区的植被受降雨影响存在年际和年内季节性变化^[10]。在研究区域,通过分析发现年NDVI的最大值出现在7-9月,本研究取7-9月9个旬NDVI值的平均值作为一个生长季的植被峰值(Vegetation Peak, VP),这样可以在一定程度上降低个别图像的噪声,以它作为研究草地NDVI年际变化趋势基础。对于植被生长高峰期的VP-NDVI值来说,每一个64km²象元上20年的最佳拟合线趋势斜率,可以用最小二乘法来计算。其计算公式为:

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

式中, b 为趋势斜率, x , y 分别为年份以及该年的VP-NDVI值。负的回归系数表明植被覆盖下降。

3 分析和讨论

3.1 植被VP-NDVI空间分布特征

图1给出藏北那曲地区20年VP-NDVI峰值平均值的空间分布。结果表明,在研究区内VP-NDVI值具有明显的空间差异性,呈现出东部高,西部低的态势,依次是农作区和森林区>高寒草甸>高寒草原>高寒荒漠草原,分类依据文献^[11];在研究区的东部,主要分布的是农作区和少量林区、高寒灌丛和高寒草甸,NDVI最大,大于180,与整个研究区相比,这些地区海拔相对较低,气候条

件较好, 植被覆盖度最大。藏北那曲地区中部主要分布着高寒草原, NDVI 在 160 ~ 180 之间, 在整个研究区中, 这些地区植被生长条件居中, 植被覆盖度较好。西部地区植被生长条件极端恶劣, 主要分布着高寒草原植被、高寒荒漠草原植被, 覆盖度很低, NDVI 在 140 ~ 160 之间。水域的 NDVI 值比较小, 趋近于 1。

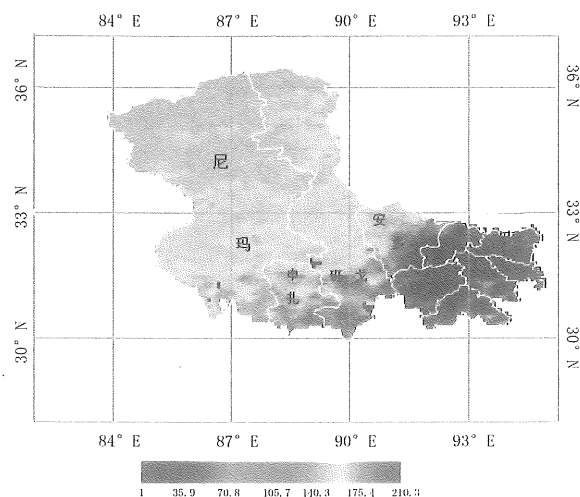


图1 1981 - 2001 年藏北那曲地区植被 VP-NDVI 均值的空间分布

Fig. 1 VP-NDVI in the NTP region during 1981 - 2001

3.2 植被 VP-NDVI 的年际动态变化

通过对研究区各像元的变化趋势统计分析得出, VP-NDVI 趋势呈无变化的区域为主, 占研究区总面积的 77.27%; 显著增加的区域为 16 个象元, 占研究区总面积的 0.27%; 轻微增加的区域占研究区总面积的 8.71%; 轻微减少的区域占研究区面积的 13.06%, 显著减少区域占研究区总面积的 0.69%。研究区内植被 VP-NDVI 趋势呈下降区域明显大于 VP-NDVI 趋势增加区域。

图 2 显示 VP-NDVI 变化趋势的空间分布, 藏北那曲地区近 20 年 VP-NDVI 变化趋势东西差异较明显; 显著增加或显著减少的地域主要分布在地势比较低的东部地区, 这里人类活动较频繁, 区域内 VP-NDVI 增减趋势较明显。而在海拔较高的西部地区 VP-NDVI 变化趋势处于轻微减少或不变, 该地区大都属于以牧为主地区或者无人区。VP-NDVI 变化趋势呈增加的象元主要分布在高寒草甸区, 行政上主要是中东部的那曲、聂荣、安多的南部和班戈的东南部; 而 VP-NDVI 显著减少主要分布在东部森林区, 轻微减少在主要分布在东部的嘉黎、比

如、索县和巴青等县。在西部无人区的荒漠草原植被也呈现轻微减少。

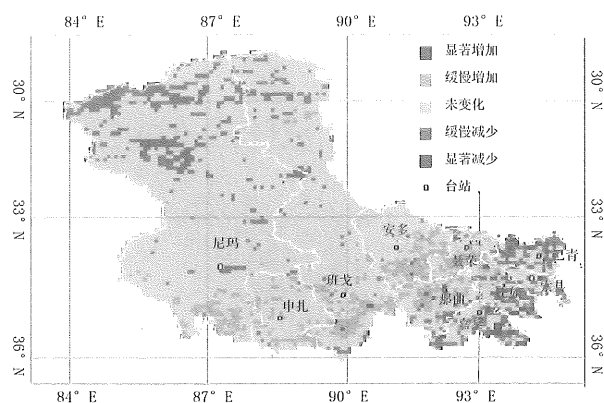


图2 1981 - 2001 年藏北那曲植被生长峰季的 VP-NDVI 变化趋势

Fig. 2 The linear trends of VP-NDVI of the NTP between 1981 and 2001

3.3 讨论

基于像元水平的植被生长峰季的 VP-NDVI 线性趋势时空分析表明, 研究时段内藏北那曲地区内植被 NDVI 变化趋势总体趋于稳定, 变化呈减少的区域高于呈增加的区域, 增减幅度在空间上存在明显的区域分异。造成藏北高寒生态系统植被覆盖发生变化的原因很多, 气候因素一般包括气候因素中的温度、降水、风速、蒸散等; 人为因素包括人口的增加、放牧强度和管理措施。大范围的区域中植被动态的主导因素存在着差异, 各因素的影响成都不相同。为此, 需要进一步分析。

3.3.1 气候驱动力的因素 研究区年平均气温反映的是该区热量资源多年的平均状况, 而藏北那曲地区年平均气温地域差异很大, 由东南向西北递减, 随海拔升高递减。其中除 1997 年外, 藏北地区 6 个站的气温略有升高, 气候变暖趋势明显。对藏北那曲地区 6 个气象站点的近 20 年降雨及蒸发量进行线性趋势分析, 提取的气象站点所在象元代表的植被类型及 NDVI 变化趋势如表 1 所示。结果显示年总降水斜率都大于零, 表明降水呈增加趋势, 而蒸发量均呈减小趋势。风力是风蚀荒漠化和沙质荒漠化发展的主要动力, 也是产生沙尘暴的直接原因。对 6 个气象站点年平均风速进行了统计 (图 3)。结果显示, 1981 - 2001 年平均风速呈明显的降低趋势, 这说明风力作用对草地退化或者荒漠化的影响会有所减弱。

表 1 藏北 6 个气象站 NDVI 峰值趋势斜率和降水量、蒸发量变化斜率 (1981-2001 年)

Table 1 VP-NDVI, annual precipitation & evaporation trend slop at six stations during 1981-2001

项目	那曲	申扎	班戈	安多	索县	嘉黎
植被类型	高寒草甸	高寒草原	高寒草原	高寒草甸	高寒草甸	高寒草甸
NDVI 趋势斜率	0.27	0.11	-0.0037	-0.018	-0.070	-0.27
年总降水斜率	4.35	5.88	0.068	1.68	0.43	4.80
蒸发量	-10.39	-4.38	-9.34	-15.64	-0.36	-8.37

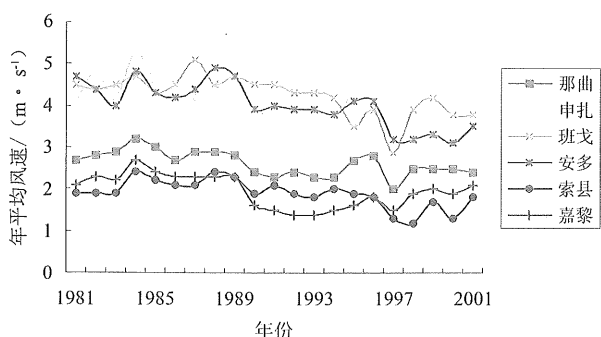


图 3 近 20 年藏北那曲地区年平均风速变化

Fig. 3 Average yearly wind speed of six climate stations in the NTP during 1981-2001

综上气候因子的分析得出, 藏北那曲地区属于气候改善区, 1981 年以来一直处于温度升高和降水增加的趋势, 温湿条件的改善, 有利于植被生长。在聂荣南部、那曲北部、安多东南部、班戈南部、申扎等地的高寒草甸和高寒草原地区, 气候条件改善的同时, 由于人类生产力水平提高以及环保意识增强, 促使这些地区代表植被覆盖程度的 NDVI 变化趋势普遍升高, 植被生物量有所增加。对于东部的班戈、索县、比如、嘉黎等地区, 在气候条件改善的同时, NDVI 线性趋势反而表现为负 (图 2), 可能的解释是由于人类活动、管理或者土地利用变化等结果, 具体分析见后。

3.3.2 NDVI 生长峰季值和不同气候因子的相关性 本研究使用 6 个气象站来评价各气候因子对植被生长年际变化的影响和 NDVI 对气候因子的响应。利用历年 VP-NDVI 和各气候因子之间的相关系数分析各气候因子与 VP-NDVI 的关系。VP-NDVI 年内变化和降水量相关系数在 0.67~0.86 之间, 呈显著性相关。

对于 VP-NDVI 年际变化和降水量以及其它气候因子的相关性比较复杂, 地区不同, 表现出不同的相关性。嘉黎处于寒温带半湿润气候条件下, 草地 NDVI 和降水量以及相对湿度呈负相关, 说明水分对这个地区的草地植被生长影响并不占主导; 此地区人口密度较大, 草地 NDVI 和人口数量也呈显

著负相关。索县也处于寒温带半湿润气候条件下, 但年降水量要稍低于嘉黎地区, 在这个地区, 与草地 NDVI 相关性最显著的是 7-9 月总降水量, 相关系数达到 0.53; 生长季积温 (5-9 月) 也很重要, 仅次于 7-9 月总降水量; 说明在此地区水分和温度对草地植被生长都具有重要意义。那曲县的西部、安多、班戈和申扎地区气候条件为亚寒带半干旱和高原寒带干旱气候, 这些地区寒冷、干旱、多风, 温度、降水、风速和蒸发对草地植被生长都有很大影响。在那曲, 与 NDVI 相关性最显著的是潜在蒸散, 相关系数达到 -0.63, 其次是平均最低气温和 7-9 月积温。在班戈, 潜在蒸散是影响草地 NDVI 的最主导因子, 相关系数达到 -0.63, 降水量也很重要, 仅次于潜在蒸散。在安多, 潜在蒸散和生长季连续无降水日数对草地生长都是主导因子。在申扎, 潜在蒸散对草地 NDVI 是最主导因子, 而蒸发量和年平均风速仅次于潜在蒸散, 申扎是 6 个地区中年平均风速最大的地区, 因而, 风速和蒸发对此地区草地生长有很大的影响, 风速和蒸发量越大越不利于草地植被生长。

3.3.3 人文驱动力 草地覆盖、生物量变化是在气候和人文驱动力共同作用下形成的。气候变化是草地覆盖退化的基本原因, 而不合理人类活动则是草地退化的主要驱动因素。藏北地区草地退化, 一方面与上述的气候因素有关, 而人类不合理的活动则加剧了草地退化过程。分析藏北那曲地区的人口变化可得出: 尽管该区人口密度较低, 但人口增长速度很快, 由 1980 年的 23.86 万增长到 2003 年的 38.72 万, 平均年增长率为 2.6%。人口的快速增长与草地的承载能力的有限, 导致对自然资源尤其是草地资源的掠夺性开发, 必将出现人畜矛盾, 引起草地退化和沙化^[12]。藏北那曲地区人口密度差异很大, 东部县人口密度明显高于西部县, 人口主要集中在东部的那曲 (5.14 人/km²)、索县 (5.94 人/km²)、比如 (4.10 人/km²) 等县。在索县、比如、巴青和嘉黎等县虽然这些地区气候条件有所改善, 但由于人口增长过快, 这几个县的人口年平

均增长率均排在前列, 导致人畜矛盾日益尖锐化。人类过度利用草地资源, 造成一些天然植被萎缩, 致使植被覆盖程度下降, 造成植被生物量减少, 而植被的退化具有促进气候恶化的反馈作用, 从而导致恶性循环, 致使植被覆盖持续下降, 植被生物量不断减少。由于同期气温和降水的增加还有利于覆盖增加, 导致这一覆盖变化的原因主要是人为破坏, 特别是不合理土地利用的结果。在研究区内, 由于6个气象站点主要分布在研究区的东部, 因而所分析的降水、气温、风力等气候条件的变化可能只能代表东部地区, 对于海拔比较高的研究区西部并较没有说服力。藏北那曲西部的高寒草原和高寒荒漠区的NDVI线性趋势变化幅度较小, 即植被生物量变化幅度较小, 该区域内人类活动较少, 其变化可能更多地体现了自然条件的改变。

4 结论

本文利用NOAA-NDVI多年数据对藏北地区植被动态变化和空间分布进行了研究, 结果表明: 反映草地覆盖和生物量的NDVI值在空间上具有明显的空间差异性, 呈现出东部高, 西部低的态势; 藏北那曲地区植被显著增加或显著减少的区域都分布在地势比较低的东部和中部地区, 在海拔较高的西部地区植被变化趋势处于轻微变化或无变化。分析造成藏北那曲地区变化的气候和人为原因, 表明不同区域植被动态变化的主导因素不同; 藏北那曲东部地区, 植被动态变化受人类活动因素影响比较显著; 而藏北那曲中部地区, 同期自然环境因子没有显著变化, 气温和降水的增加有利于覆盖增加。气象站点的数据分析对那曲地区西部的气候变化没有说服力, 此地区同时也是无人区, 不受人类活动太大的影响, 因而那曲地区西部的NDVI变化可能更多的表现出青藏高原植被的自然变动。

参考文献:

- [1] 叶笃正, 曾庆存, 郭裕福. 当代气候研究[M]. 北京: 气象出版社, 1991.
- [2] 孙鸿烈, 郑度. 青藏高原形成演化与发展[M]. 广州: 广东科技出版社, 1998: 1-357.
- [3] AN Z S, KUTZBUCH J E, PRELL W L, et al. Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalaya? Tibetan plateau since Late Miocene times [J]. *Nature*, 2001, 411: 62-66.
- [4] 延昊, 张佳华, 赵一平等. 青藏高原沙尘天气的遥感研究[J]. *中国沙漠*, 2006, 26(6): 931-934.
- YAN Hao, ZHANG Jiahua, ZHAO Yiping, et al. Dust weather analysis of tibet plateau by using remote sensing [J]. *Journal of Desert Research*, 2006, 26(6): 931-934.
- [5] CURRAN P J. Multi-spectral remote sensing of vegetation amount [J]. *Progress in Physical Geography*, 1980, 4: 319-341.
- [6] TUCKER C J, VANPRAET C L, SHARMAN M J, et al. Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the Senegalese Sahel: 1980-1984 [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1985, 17: 233-249.
- [7] SELLERS P J. Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1985, 6: 319-332.
- [8] 张佳华, 符淙斌. 生物量估测模型中遥感信息与植被光合参数的关系研究[J], *测绘学报*, 1999, 28(2): 128-132.
- ZHANG Jiahua, FU Congbin. A study on relationships between remote sensing information and plant photosynthetic parameters in estimating biomass model [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*. 1999, 28(2): 128-132.
- [9] STOW D, HOPE A, MCGUIRE D, et al. Remote sensing of vegetation and land-cover change in Arctic Tundra Ecosystems [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 89: 281-308.
- [10] 张佳华, 符淙斌, 延晓冬, 等. 全球植被叶面积指数对温度和降水的响应研究[J]. *地球物理学报*, 2002, 45(5): 631-639.
- ZHANG Jiahua, FU Congbin, YAN Xiaodong, et al. Global response analysis of LAI versus surface air temperature and precipitation variations [J]. *Chinese J of Geophysics*, 2002, 45(5): 631-639.
- [11] 张佳华, 郑凌云. 藏北那曲地区草地和未利用土地动态变化及原因[J]. *山地学报*, 2005, 23(6): 672-677.
- ZHANG Jiahua, ZHENG Lingyun. Dynamic changes and reason analysis of grassland and unused (unexploited or unwrought) land in Naqu of Northern Tibet [J]. *Journal of Mountain Research*, 2005, 23(6): 672-677.
- [12] 刘淑珍, 周麟, 仇崇善, 等. 西藏自治区那曲地区草地退化沙化研究[M]. 拉萨: 西藏人民出版社, 1999: 4-33.