

近 20 年藏北地区 AVHRR NDVI 与气候因子的关系

毛 飞^{1,2,*}, 卢志光³, 张佳华¹, 侯英雨⁴

(1. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 2. 中国气象局成都高原气象研究所, 成都 610071;
3. 中国农业大学, 北京 100094; 4. 国家气象中心, 北京 100081)

摘要 利用藏北那曲地区 1981~2001 年 NOAA/AVHRR 的旬合成 NDVI 资料和 6 个站的逐日气象资料, 分析了 (归一化指数 NDVI) 的年内和年际变化规律以及 NDVI 与 8 个气候要素的相关关系, 主要结论: 影响 NDVI 年变化最显著的气候因子是温度, 其中水汽压与 NDVI 的相关程度明显大于降水量; 日照时数与 NDVI 呈负相关; NDVI 与日照时数的滞后时间约 0~10 d, 与风速没有滞后现象, 与潜在蒸散、温度、水汽压和降水约 20~40 d, 影响 NDVI 年际变化最显著的气候因子是潜在蒸散量。

关键词 藏北; NDVI; 气候因子

文章编号: 1000-0933 (2007) 08-3198-08 中图分类号: P463, Q141 文献标识码: A

Relations between AVHRR NDVI and climate factors in Northern Tibet in recent 20 years

MAO Fei^{1,2,*}, LU Zhi-Guang³, ZHANG Jia-Hua¹, HOU Ying-Yu⁴

1 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China
2 Institute of Plateau Meteorology, CMA, Chengdu, Chengdu 610071, China
3 Chinese Agricultural University, Beijing 100094, China
4 National Meteorological Center, Beijing 100081, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (3) 3198~3205.

Abstract : Using NOAA/AVHRR 10-day composite NDVI data and daily meteorological data at six stations from 1981 to 2001, the annual and interannual variations of NDVI and the relations between NDVI and eight climate factors were analyzed. The main results showed that the most important climate factor affecting the annual variations of NDVI was temperature. The relation between NDVI and water vapour pressure was more marked than that between NDVI and precipitation and the relation between NDVI and sunshine duration was negative. The correspondence between NDVI and wind velocity was negative with no time lag. The correspondence between NDVI and sunshine duration had a marked lag between 0 and 10 days, while the time lags were in the range from 20 to 40 days between NDVI and other variables including potential evapotranspiration, temperature, water vapour pressure and precipitation. The most important climate factor affecting the interannual changes of NDVI was potential evapotranspiration.

Key Words : Northern Tibet; NDVI; climate factor

基金项目 国家科技部资助项目 (2003DIB4J144); 中国气象局成都高原气象研究所资助项目 (LPM2006019)
收稿日期 2006-08-09; 修订日期 2007-05-24
作者简介 毛飞 (1958~), 女, 浙江省宁波市人, 博士, 副研究员, 主要从事生态环境遥感应用. E-mail: maofei77@cams.cma.gov.cn
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: maofei77@cams.cma.gov.cn
Foundation item : The project was financially supported by MOST (No. 2003DIB4J144), Institute of Plateau Meteorology, CMA, Chengdu (No. LPM2006019)
Received date 2006-08-09; **Accepted date** 2007-05-24
Biography MAO Fei, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in environment remote sensing application. E-mail: maofei77@cams.cma.gov.cn

气候条件是植被分布和变化的直接驱动力 ,同时 ,植被对气候也有反馈作用^[1] ,可在一定程度上减缓或加剧气候变化的幅度 ,而 NOAA/AVHRR 的归一化植被指数 NDVI 能较好的表现地表植被的分布特征和变化情况 ,因此 ,自 20 世纪 80 年代以来 ,NDVI 与气候相互关系的研究已成为全球变化 ,尤其是气候变化领域的热点 ,国内外学者已经发表了很多相关的论文^[2~18] ,但大多数只涉及降水、温度与 NDVI 之间的关系。有关 NDVI 与气候因子滞后现象以及 NDVI 与其它气候因子 ,尤其是潜在蒸散之间的关系 ,国内还未见有文献报道。

藏北那曲地区位于素有 “生态源 ”和全球 “气候调节器 ”之称的青藏高原腹地 ,平均海拔 4500m ,是我国气候条件最为恶劣、生态环境极为脆弱的典型区域 ,86% 以上的地表类型为草地 ,约有一半的土地为无人区 ,迄今为止 ,针对那曲地区近 20a 来植被的动态变化以及 NDVI 与气候相互关系的研究开展得很不够。因此 ,利用遥感和气候资料研究那曲地区植被 (NDVI) 的动态变化以及与气候因子 ,尤其是潜在蒸散的关系 ,对她及其周边地区的生态建设和社会可持续发展具有重要意义。

1 资料及其计算方法

选用的那曲地区 6 个气象站 (嘉黎、索县、那曲、班戈、申扎和安多)逐日资料 ,包括 :平均气温、最高气温、最低气温、水汽压、日照时数、风速和降水量 ,由中国气象局国家信息中心气象资料室和西藏自治区气象局资料室提供。

潜在蒸散量用联合国粮食及农业组织 (FAO)在 1998 年推荐的方法计算^[19] :

$$E_{T0} = \frac{0.408\Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 272} \mu_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34\mu_2)} \tag{1}$$

式中 E_{T0} 为潜在蒸散量 (mm d^{-1}) R_n 为地表净辐射 ($\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$) G 为土壤热通量 ($\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$) T 为 2 m 高度处平均气温 ($^{\circ}\text{C}$) μ_2 为 2 m 高度处风速 (m s^{-1}) e_s 为饱和水汽压 (kPa) e_a 为实际水汽压 (kPa) Δ 为饱和水汽压曲线斜率 ($\text{kPa }^{\circ}\text{C}^{-1}$) γ 为干湿表常数 ($\text{kPa }^{\circ}\text{C}^{-1}$)。

遥感数据选用 10 d 合成的归一化植被指数 (NDVI) ,来自美国 NOAA / NASA Pathfinder AVHRR Land (PAL) 数据库。空间分辨率为 8 km ,资料年代为 1981 年 7 月中旬至 2001 年 9 月下旬 (其中 1994 年的 9 月上旬至 12 月下旬无资料)。

NDVI 的计算公式 :

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - R}{\text{NIR} + R} \tag{2}$$

式中 ,NIR 是近红外波段反射率 ,R 是可见光红波段反射率。

分别以 6 个气象站所在的像元为中心 ,求 3×3 个像元的平均代表该气象站的 NDVI 值 ,其中那曲、嘉黎和索县 3 个站的植被类型为高寒草甸 ,安多和班戈为高寒草甸草原 ,申扎为高寒草原 ,进一步计算每种草地类型中各站的平均值 ,以此分析不同草地类型 NDVI 的年内和年际变化以及与各气候因子的相关关系。

2 研究结果及其讨论

2.1 NDVI 年内变化规律及其与气候因子的关系

2.1.1 NDVI 年内变化规律

分别计算不同草地类型 1 年 36 个旬的 18 a 平均 NDVI (图 1) 。由图可知 ,高寒草甸、高寒草甸草原和高寒草原的 NDVI 年变化在牧草生长期均呈单峰型 ,年最大值均出现在 8 月份 ,分别为 0.487、0.281 和 0.191 ,生长季 (5 ~9 月份) 平均为 0.351、0.205 和 0.145 ,年平均为 0.219、0.148 和 0.116 ,不同草地类型年最大值和生长季平均的差别比较大 ,而年平均相差较小。高寒草甸 NDVI 从 5 月上旬开始明显增加至 6 月上旬 ,然后迅速增加 ,至 7 月下旬达到一个较高的值 ,之后缓慢增加至 8 月上旬达到最高 ,然后牧草开始枯黄 ,NDVI 下降 ,到 11 月初回到春天明显增加前的水平。11 月初至翌年 4 月底牧草地上部分均已枯黄 ,NDVI 很小 ,变化也比较小 ,主要受降雪的影响。牧草的主要生长期为 5 月上旬 ~11 月上旬。高寒草甸草原 NDVI 从

5 月下旬开始明显增加至 8 月中旬达到最高 ,增加速度比较均匀 ,没有明显的迅速增加期 ,之后 NDVI 开始下降 ,直到 10 月下旬牧草全部枯黄 ,10 月下旬至翌年 5 月中旬 NDVI 值变化不大 ,且小于高寒草甸。牧草的主要生长期为 5 月下旬 ~ 10 月下旬。高寒草原 NDVI 从 6 月上旬开始缓慢增加至 8 月下旬达到最高 ,之后 NDVI 缓慢下降至 10 月中旬 ,10 月中旬至翌年 6 月上旬 NDVI 值变化不大 ,牧草的主要生长期为 6 月上旬 ~ 10 月中旬。

2.1.2 旬 NDVI 与旬平均气候因子的关系

影响牧草生长年内变化的气候因子比较多 ,本文选旬平均气温、旬平均最高气温、旬平均最低气温、旬平均水汽压、旬平均风速、旬平均日照时数和旬降水量 7 个因子。

分别建立不同草地类型 1982 ~ 2000 年牧草主要生长期 (5 ~ 9 月分)旬 NDVI 与上述各气候因子的相关统计样本集 ,样本量为 270 (高寒草甸的样本量为 255)。

牧草生长是一个渐进的过程 ,相对于气候因子来说 ,它的变化要缓慢得多。因此 ,NDVI 对气候因子的响应存在滞后现象 ,滞后期与气候因子和所研究的区域有关。为了分析和比较那曲地区不同气候因子与植被的关系和滞后现象 ,分别计算不同草地类型旬 NDVI 与同一旬的气候因子以及与前 1 旬、前 2 旬、前 3 旬、前 4 旬、前 5 旬、前 6 旬、前 7 旬、前 8 旬气候因子的线性相关系数。

高寒草甸旬 NDVI 与旬平均气温的相关系数随着滞后时间的增长而增大 ,当滞后时间为 30 d 时 ,相关系数达到最大 ,为 0.9013。NDVI 与最高气温的最大相关系数为 0.8414 ,滞后 40 d ;最低气温 0.9269 ,滞后 30 天 ,降水量 0.6915 ,滞后 40 d ;水汽压 0.9072 ,滞后 20 d ;与日照时数呈负相关 ,相关系数 -0.357 ,滞后 10 d ;风速 -0.5629 ,没有滞后现象。NDVI 与最低气温的关系最显著 ,其次是水汽压 ,之后依次是平均气温、最高气温、降水量、风速和日照时数。

高寒草甸草原旬 NDVI 与旬平均气温、最高气温、最低气温、降水量和水汽压的最大相关系数分别为 0.8396、0.7969、0.8824、0.6196 和 0.8611 ,滞后时间分别为 30、40、30、40 d 和 30 d。NDVI 与日照时数和风速呈负相关 ,相关系数分别为 -0.3962 和 -0.5748 ,滞后 10 d 和 0 d。NDVI 与最低气温的关系最显著 ,其次是水汽压 ,之后的排序同高寒草甸。

高寒草原旬 NDVI 与旬平均气温、最高气温、最低气温、降水量和水汽压的最大相关系数分别为 0.8521、0.8313、0.8771、0.5749 和 0.8579 ,滞后时间分别为 40、60、40、30 d 和 30 d。NDVI 与日照时数和风速呈负相关 ,相关系数分别为 -0.4859 和 -0.5178 ,滞后 10 d 和 0 d。NDVI 与最低气温的关系最显著 ,其次是水汽压 ,之后的排序同高寒草甸。

综合分析不同草地类型 NDVI 与 7 种气候要素的关系发现 :气候因子对 NDVI 的影响程度以及滞后时间不仅气候因子之间有较大差别 ,而且不同草地类型也有差异 (表 1 ,表中相关系数均通过显著水平为 0.001 的显著性检验)。由表可知 ,就 3 种草地类型的平均值来看 ,与 NDVI 关系最显著的气候因子是最低气温 ,相关系数为 0.8955 ,其次是水汽压 ,为 0.8754 ,接着是平均气温 0.8643、最高气温 0.8232 和降水量 0.6287 ,以上 5 种要素与 NDVI 呈正相关 ,排在第 6 和第 7 的是风速和日照时数 ,它们与 NDVI 呈负相关 ,分别为 -0.5518 和 -0.413 0。可见 ,影响那曲地区草地生态的最主要气候因子是温度 ,且最低气温的影响比平均气温和最高气温的影响还要大 ,这与藏北高原独特、恶劣的气候条件有关。根据本文作者对气象资料的分析 ,那曲地区近 40 a 的年平均气温为 -0.32℃ ,生长季 (5 ~ 9 月份)的平均气温也只有 7.32℃ ,因此 ,热量资源对牧草生长是

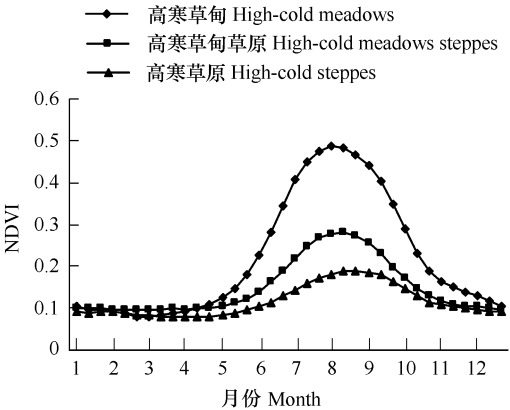


图 1 那曲地区 NDVI 年变化
Fig. 1 NDVI annual changes in Naqu

至关重要的,尤其是低温冷害和冻害是影响牧草的最主要气象灾害。

水分条件对 NDVI 的影响也很显著,因为那曲地区的绝大部分地区位于半湿润、半干旱、干旱气候区,水分条件是牧草生长的主要限制因素之一。需要进一步讨论的是虽然降水量与 NDVI 的关系比较密切,但水汽压与 NDVI 的关系比降水量更为密切,因为水汽压与降水量具有较好的相关性,降水量大的地区和季节,水汽压也比较大。水汽压越大,地表蒸发就越小,有利于土壤保墒和牧草的生长,因此,水汽压是间接反映一个地区水分条件的气候因子。从逐旬的水汽压和降水量变化情况看,降水量的变异性明显大于水汽压,这可能就是水汽压与 NDVI 的关系比降水量更为密切的原因之一。由于国内外学者针对水汽压与 NDVI 关系的研究,还未见有文献报道,因此,上述现象是藏北地区所特有,具有一定的普遍性。

表 1 那曲地区各站旬 NDVI 与旬气候要素最大相关系数及其滞后时间

Table 1 Maximal correlation coefficient and lag days between decadal NDVI and climate factors in Naqu							
草地类型 Class land types	平均气温 Mean tem- perature	最高气温 Maximum temperature	最低气温 Minimum temperature	降水 Precipi- tation	水汽压 Vapour pressure	日照时数 Sunshine time	风速 Wind velocity
高寒草甸 High-cold meadows	0.9013	0.8414	0.9269	0.6915	0.9072	-0.357	-0.5629
高寒草甸草原 High-cold meadows steppess	0.8396	0.7969	0.8824	0.6196	0.8611	-0.3962	-0.5748
高寒草原 High-cold steppess	0.8521	0.8313	0.8771	0.5749	0.8579	-0.4859	-0.5178
平均 Mean	0.8643	0.8232	0.8955	0.6287	0.8754	-0.4130	-0.5518
平均滞后时间 Mean lag (d)	30~40	40	30~40	30~40	20~30	10	同期

风速对 NDVI 的影响也比较显著。风速越大,地表蒸发也越大,土壤失水就越多,越容易导致草原干旱的发生和发展,此外,当风速大时,会加重低温冷害和冻害对牧草的危害,那曲地区是全国平均风速最大的地区,研究风速与 NDVI 的关系具有重要的实际意义。

日照条件是牧草生长的主要气候因素之一,但与 NDVI 的关系不仅在 7 个气候因子中排在最后,而且还呈负相关,这也反映了那曲地区气候的特殊性。那曲地区的气候有好几个世界之最,其中之一就是丰富的光照,在特定的条件下,地表的辐射强度甚至大于太阳常数,因此,那里牧草的生长发育受光照不足的影响比较小。当光照条件得到基本满足情况下,多余的部分反而会导致对牧草的不利影响,这主要表现在光照越多,蒸散越大,最终导致 NDVI 下降。此外,强烈的辐射会抑制牧草细胞的伸长,影响生长。

气候因子与 NDVI 的滞后时间不能完全由最大相关系数出现的时间来定,因为最大值与次大及以下的值有时很接近,因此,要跟据相关系数随滞后时间变化的情况而定。根据本文 3 种草地类型的统计结果,日照时数滞后时间为 0~10 d,风速与 NDVI 没有滞后现象,其他因子 20~40 d。

2.2 NDVI 年际变化规律及其与气候因子的关系

2.2.1 NDVI 年际变化规律

用年最大 NDVI 表示牧草的最终生物量,分析 1981~2001 年不同草地类型牧草生长的年际变化规律(图 2)。由图可知,高寒草甸、高寒草甸草原和高寒草原的多年平均年最大 NDVI 分别为 0.500、0.292 和 0.200,1981~2001 年期间,高寒草甸草原和高寒草原的年最大 NDVI 均呈增加趋势,增加率分别为 0.0011/a 和 0.0006/a,而东部的高寒草甸呈减少趋势,减少率为 -0.00007/a,总体看,近 20 a 来不同草地类型的植被活动变化不显著。

2.2.2 NDVI 与气候因子年际变化之间的关系

用 7~8 月份平均 NDVI 代表年植被生长状况,气候因子选平均气温、最高气温、最低气温、水汽压、风速、日照时数、降水量和潜在蒸散量。考虑到 NDVI 与气候因子存在滞后现象,用各种气候因子的 5~8 月平均值

或累计值代表年气候条件。用每年的 7 ~ 8 月平均 NDVI 和 5 ~ 8 月平均或累计各种气候因子值建立样本集 ,分析不同草地类型植被与气候因子年际变化之间的关系。由于代表高寒草甸的那曲县、索县和嘉黎分别位于半干旱、半湿润和湿润气候区 ,根据单站的分析 ,不同气候区中植被与气候的年际变化之间的关系差异比较明显 ,因此 ,高寒草甸的 3 个站分别进行分析 (表 2 ,表中高寒草甸 1、2 和 3 分别代表那曲县、索县和嘉黎。那曲县的样本量为 17 ,其它为 18)。

由表 2 可知 ,在半干旱高寒草甸 ,相关系数通过显著水平为 0.01 显著性检验的有日照时数、风速、潜在蒸散和水汽压 ,其中光照、风速和潜在蒸散与 NDVI 均呈显著负相关 ,而光照和风速与潜在蒸散成正比 ,表明三者对牧草生长发育的不良影响主要是通过增大草地蒸散耗水导致旱情的发生和发展这一途径。水汽压与潜在蒸散成反比 ,表明它对牧草生长发育的有利影响主要通过减少草地蒸散耗水从而保墒增产这一途径。温度对牧草生长发育有正负二方面的影响 ,正面的影响主要表现在气温高 ,热量条件好 ,有利于牧草生长 ,但也因蒸散耗水增大而产生不利的影响。平均气温与 NDVI 呈微弱的正相关 ,表明它对牧草生长发育正负二方面的影响大致相当 ,最高气温负面的影响略大一些 ,最低气温主要表现为正面的影响。降水与 NDVI 呈正相关 ,降水增加有利于牧草的生长。综上所述 ,植被的年际波动主要受水分条件的控制 ,但温度也是一个重要的因素 ,尤其是最低气温。

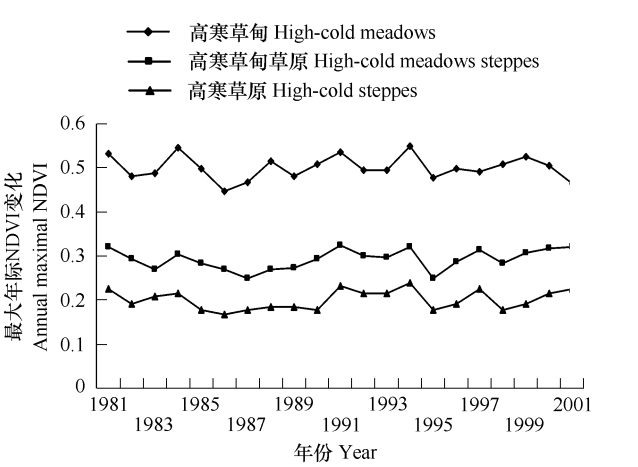


图 2 那曲地区年最大 NDVI 年际变化

Fig. 2 Interannual changes of annual maximal NDVI in Naqu

Table 2 Correlation coefficient between mean NDVI from July to August and climate factors from May to August in Naqu								
草地类型 Glass land types	平均气温 Mean tem- perature	最高气温 Maximum temperature	最低气温 Minimum temperature	降水 Precipi- tation	水汽压 Vapour pressure	日照时数 Sunshine time	风速 Wind velocity	潜在蒸散 Potential evapotran spiration
高寒草甸 1 High-cold meadows1	0.0710	-0.2171	0.5214	0.3182	0.6716	-0.7250	-0.7123	-0.6939
高寒草甸 2 High-cold meadows2	-0.1139	-0.1987	0.1260	0.3246	0.2721	-0.2433	-0.1041	-0.3391
高寒草甸 3 High-cold meadows3	0.2099	0.4150	0.0309	0.1579	-0.0325	0.2038	-0.3500	0.3212
高寒草甸草原 High-cold meadows steppes	-0.3390	-0.4972	0.0798	0.2774	0.4986	-0.6310	-0.6379	-0.7871
高寒草原 High-cold steppes	-0.2509	-0.3346	-0.1103	-0.0446	0.3294	-0.4166	-0.4315	-0.6355
平均 Mean	0.1969	0.3325	0.1737	0.2245	0.3608	0.4439	0.4472	0.5554

在半湿润高寒草甸 8 个气候因子与 NDVI 的相关系数都没有通过显著水平为 0.01 的显著性检验。对 NDVI 影响最大的是潜在蒸散 ,相关系数为 -0.3391 ,其次是降水和水汽压 ,潜在蒸散、平均气温、最高气温、风速和日照时数与 NDVI 为负相关 ,水汽压、降水量和最低气温与 NDVI 为正相关。表明降水越多、空气越湿润、地表蒸散越小 ,牧草生长越好。水分是影响植被年际波动的主要因素。

在湿润高寒草甸 8 个气候因子与 NDVI 的相关系数也都没有通过显著性检验 ,但气候因子对牧草生长的影响规律与半湿润高寒草甸有所不同。对 NDVI 影响最大的是最高气温 ,相关系数为 0.4150 ,其次是风速和潜在蒸散 ,表明白天温度是影响植被年际波动的主要因素。研究区域中只有该区 NDVI 与潜在蒸散量呈正相

关,而与水气压成反比,表明气候越干燥,气温越高,越有利于牧草的生长,这从气候与植被关系的角度说明了青藏高原高寒湿润区的特殊性。

在半干旱高寒草甸草原只有潜在蒸散通过了显著性检验,潜在蒸散越大,大气越干燥,越容易导致草地干旱的发生和发展,牧草长势就越差。其它 7 个因子中,水汽压和降水与 NDVI 呈正相关,水分的增加有利于牧草的生长。风速、日照时数、平均气温、最高气温和最低气温与 NDVI 都呈负相关,这些要素与潜在蒸散均呈正相关,它们的增加导致 NDVI 的减少主要是通过增大潜在蒸散的缘故。因此,植被的多年年际波动主要受水分条件的控制,热量条件不是最重要影响因子。

半干旱高寒草原是本文研究区域中水资源最缺乏的一个站,只有水汽压与 NDVI 呈正相关,其它要素都呈负相关,其中,潜在蒸散与 NDVI 的相关最显著,为 -0.6355 ,降水最不显著,为 0.0446 。植被的年际波动主要受水分条件的控制,热量条件不是最重要影响因子。

把表 2 中各气候因子与 NDVI 的相关系数都换算成绝对值,求它们的平均值。可见对那曲地区植被年际变化影响最大的气候因子是潜在蒸散,紧接着是风速、日照时数、水汽压、最高气温、降水量、平均气温和最低气温。可见水分条件的年际波动对植被生长状况的影响要大于热量条件,对大多数地区,水资源越丰沛,植被的长势越好。

通过上述分析可知,潜在蒸散是一个较好的反映光、温、水对 NDVI 年际波动综合影响的气候因子。图 3 给出了高寒草甸草原 7~8 月份平均 NDVI 与 5~8 月份潜在蒸散量的年际变化规律,二者呈显著的负相关,相关系数为 -0.7871 。那曲地区只有 5% 属于湿润气候区,95% 属于半湿润、半干旱和干旱气候区,潜在蒸散量是影响草地植被年际变化的最主要气候要素之一。潜在蒸散量也称参考作物蒸散量、参考蒸散量和可能蒸散量。指较大范围高度 12 cm 、阻抗 70 s m^{-1} 、反照率 0.23 的均匀作物地(与高度一致的开阔草地相近),植被生长良好、土壤水分充分供给,在当地气候条件下,一定时间内所蒸腾的水分和棵间土壤所蒸发的水分总量。它综合考虑了光照、温度、湿度、风和地理位置参数对植被的影响。因此,在分析气候与植被的相互关系时,它是一个较理想的因子,尤其是在缺水的半湿润、半干旱和干旱气候区。潜在蒸散量越大,大气越干燥,这也说明水分条件是影响那曲地区草地生态的主要气候条件。

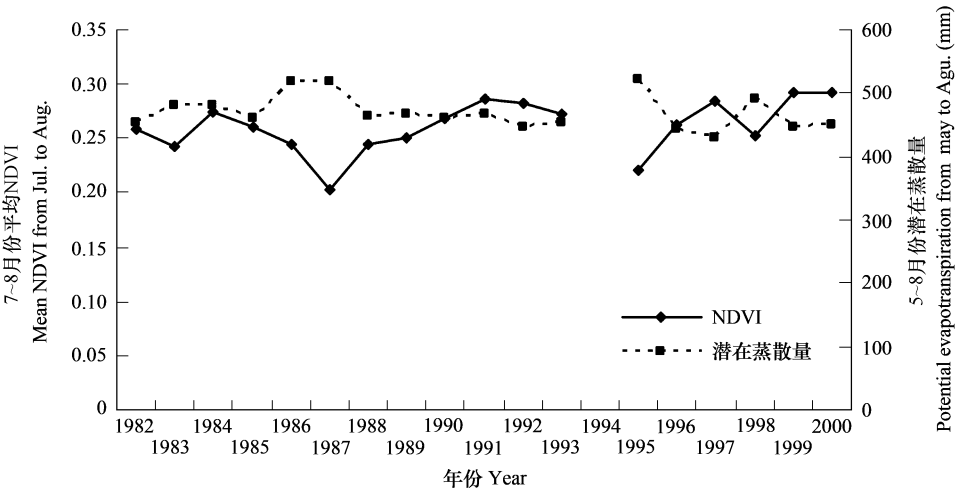


图 3 7~8 月份平均 NDVI 与 5~8 月份潜在蒸散量年际变化

Fig. 3 Interannual changes of mean NDVI from July to August and potential evapotranspiration from May to August

3 小结与讨论

近 20 a 来高寒草甸、高寒草甸草原和高寒草原的植被活动变化不显著,其中高寒草甸草原和高寒草原的年最大 NDVI 呈增加趋势,而东部的高寒草甸呈减少趋势。

影响 NDVI 年内变化最显著的气候因子是最低气温,紧接着是水汽压、平均气温、最高气温、降水量、风速

和日照时数 , 温度和水汽压是影响 NDVI 年变化的最主要因子 , 前者反映的是热量条件对植被的影响 , 后者反映的是水分条件对植被的影响。NDVI 与最低气温、水汽压、平均气温、最高气温和降水量的滞后时间约 20 ~ 40 d , 日照时数 0 ~ 10 d , 与风速没有滞后现象。水汽压与 NDVI 的相关程度明显大于降水量。日照时数与 NDVI 呈负相关。

影响 NDVI 年际变化最显著的气候因子是潜在蒸散量 , 紧接着是风速、日照时数、水汽压、最高气温、降水量、平均气温和最低气温。水分条件是影响 NDVI 年际波动的主要因素 , 水资源越丰沛 , 植被的长势越好。

本文作者根据那曲地区 6 个气象站 1961 ~ 2000 年逐日平均气温、最高气温、最低气温、水汽压、日照时数、风速和降水量等气象资料分析表明 , 那曲地区气候近 40 a 来变化比较小 , 但总体在向暖湿方向发展 , 2000 年以后继续暖湿化的可能性比较大 , 有利于植被生长和生态环境的改善。

潜在蒸散是一个较好的反映光、温、水对 NDVI 年际波动综合影响的气候因子。与降水量相比 , 大气中的水汽压可以更好的解释水分条件与 NDVI 的相互关系。

References :

[1] Ding Y H , Li Q P , Dong W J. A numerical simulation study of the impacts of vegetation changes on regional climate in china. *Acta Meteorologica Sinica* , 2005 , 63 (5) 613 — 621.

[2] Schultz P A , Halpert M S. Global analysis of the relationships among a vegetation index , precipitation and land surface temperature. *International Journal of Remote Sensing* , 1995 , 16 : 2755 — 2777.

[3] Justice C O , Hiernaux P Y. Monitoring the grasslands of the Sahel using NOAA /AVHRR data :Niger 1983. *International Journal of Remote Sensing* , 1986 , 17 : 1475 — 1497.

[4] Hielkema J U , Prince S D , Astle W L. Rainfall and vegetation monitoring in the Savanna Zone of the Democratic Republic of Sudan using NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer. *International Journal of Remote Sensing* , 1986 , 7 : 1499 — 1513.

[5] Justice C O , Dugdale G , Townshend J R G , *et al.* Synergism between NOAA-AVHRR and Meteosat data for studying vegetation development in semi-arid West Africa. *International Journal of Remote Sensing* , 1991 , 12 (6) : 1349 — 1368.

[6] Davenport M L , Nicholson S E. On the relationship between rainfall and the normalized difference vegetation index for diverse vegetation types of East Africa. *International Journal of Remote Sensing* , 1993 , 14 : 2369 — 2389.

[7] Malo A R , Nicholson S E. A study of rainfall and vegetation dynamics in the African Sahel using Normalized Difference Vegetation Index. *Journal of Arid Environments* , 1990 , 19 : 1 — 24.

[8] Nicholson S E , Davenport M L , Malo A R. A comparison of the vegetation response to rainfall in the Sahel and East Africa using Normalized Difference Vegetation Index from NOAA AVHRR. *Climate Change* , 1990 , 17 : 209 — 241.

[9] Nicholson S E , Farrar T J. The influence of soil type on the relationship between NDVI , rainfall and soil moisture in semiarid Botswana I . NDVI response to rainfall. *Remote Sensing of Environment* , 1994 , 50 : 107 — 120.

[10] Fuller D O , Prince S D. Rainfall and foliar dynamics in tropical Southern Africa :potential impacts of global climatic change on savanna vegetation. *Climatic Change* , 1996 , 33 : 69 — 96.

[11] Richard Y , Pocard I. A statistical study of NDVI sensitivity to seasonal and interannual rainfall variation in Southern Africa. *International Journal of Remote Sensing* , 1998 , 19 (15) : 2907 — 2920.

[12] Li B G , Tao S. Correlation between AVHRR NDVI and climate factors. *Acta Ecologica Sinica* 20 (5) : 898 — 902.

[13] Chen Y H , Li X B , Shi P J. Variation in NDVI driven by climate factors across china , 1983 — 1992. *Acta Phytocologica Sinica* , 2001 , 25 (6) : 716 — 720.

[14] Zhang J , Ge J P , Guo Q X. The relation between the change of the main vegetational types and the climatic factors in the northeast of china. *Acta Ecologica Sinica* 21 (4) : 522 — 527.

[15] Zhao M S , Fu C B , Yan X D , *et al.* Study on the relationship between different ecosystems and climate in china using NOAA/AVHRR data. *Acta Geographica Sinica* , 2001 , 56 (3) : 287 — 296.

[16] Xu X K , Lin C H , Xue F , *et al.* Correlation analysis between meteorological factors and the ratio of vegetation cover. *Acta Ecologica Sinica* 23

Q) 221 – 230.

[17] Bi X L , Wang H , Ge J P. Wave-type time series variation of the correlation between NDVI and climatic factors. Chinese Journal of Applied Ecology 2005 ,16 (2) :284 – 288.

[18] Qi S H , Wang C Y , Niu Z , *et al.* SVI and VCI based on NDVI time-series dataset used to Monitor vegetation growth status and its response to climate variables. Progress in Geography , 2004 23 (3) 91 – 99.

[19] Allen R G , Pereira L S , Raes D , Smith M. Crop evapotranspiration. FAO Irrigation and drainage paper 56 , Rome , 1998.

参考文献：

[1] 丁一汇 ,李巧萍 ,董文杰. 植被变化对中国区域气候影响的数值模拟研究. 气象学报 2005 63 (5) 613 ~ 621.

[2] 李本纲 ,陶澍. AVHRR NDVI 与气候因子的相关分析. 生态学报 2000 20 (5) 898 ~ 902.

[3] 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. 植物生态学报 2001 25 (6) 716 ~ 720.

[4] 张军 ,葛剑平 ,国庆喜. 中国东北地区主要植被类型 NDVI 变化与气候因子的关系. 生态学报 2001 21 (4) 522 ~ 527.

[5] 赵茂盛 ,符淙斌 ,延晓冬 ,等. 应用遥感数据研究中国植被生态系统与气候的关系. 地理学报 2001 56 (3) 287 ~ 296.

[6] 徐兴奎 ,林朝晖 ,薛峰. 气象因子与地表植被生长相关性分析. 生态学报 2003 23 (2) 221 ~ 230.

[7] 毕晓丽 ,王辉 ,葛剑平. 植被归一化指数 (NDVI) 及气候因子相关起伏型时间序列变化分析. 应用生态学报 2005 16 (2) : 284 ~ 288.

[8] 齐述华 ,王长耀 ,牛铮 ,等. 利用 NDVI 时间数据数据分析植被长势对气候因子的响应. 地理科学进展 2004 23 (3) 91 ~ 99.