引文格式：刘宣. 基于TVDI的赤峰地区干旱变化监测[J]. 地理空间信息, 2025, 23(12):86-89. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.12.019

基于TVDI的赤峰地区干旱变化监测

刘　宣[1]
（1. 内蒙古自治区赤峰市气象局，内蒙古 赤峰 024000）

摘　要：为探究2014—2023年夏季（6-8月）赤峰地区的干旱变化特征，使用Modis数据中的归一化植被指数（NDVI）和地表温度（LST）计算温度植被干旱指数（TVDI），利用趋势分析法（Sen-MK）来揭示赤峰地区的干旱时空特征、趋势变化速率等。结果表明，近10 a来赤峰地区的干旱分布存在较大的差异性，总体上东部为中旱，西部为无旱和轻旱状态，多年TVDI均值为0.623 6，达到中旱级别。每年6月干旱程度是最重的，从7月份开始逐渐缓解。TVDI以0.003 76/a的速度缓慢增长。趋势变化分析中年干旱程度呈现缓慢加重，年均变化中76.98%的区域为不显著增加，6月是夏季干旱变化趋势中不显著增加区域范围最广的。

关键词：干旱；TVDI；趋势分析
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）12-0086-04

Drought Change Monitoring in Chifeng Region Based on TVDI

LIU Xuan[1]
(1. Chifeng Meteorological Bureau, Chifeng 024000, China)

Abstract: We used the normalized vegetation index (NDVI) and land surface temperature (LST) from MODIS data to calculate the temperature vegetation drought index (TVDI) in Chifeng region during the summer period (June to August) from 2014 to 2023, and used trend analysis method (Sen-MK) to reveal the spatio-temporal characteristics of drought in Chifeng region. The results show that there are great differences in drought distribution in Chifeng region in the past 10 years. In general, the eastern part of region is medium drought, while the western part is drought free and light drought. The average annual TVDI is 0.623 6, reaching the medium drought level. The drought is heaviest in June and gradually eases from July. TVDI has been growing slowly at a rate of 0.003 76 per annum. The degree of drought increased slowly in middle age, and 76.98% of the regions show no significant increase in the average annual change, and June is the most extensive region with no significant increase in the trend of summer drought.

Key words: drought, TVDI, trend analysis

干旱是北方地区主要的自然灾害之一，其产生的影响波及植被生长、粮食生产与经济发展，造成社会的可持续性发展受到制约[1]。在全球变暖等气候变化与人类活动加速的交织影响下[2]，干旱等极端气候愈发频繁。因此对干旱的实时追踪与预测已势在必行。传统监测手段，往往依赖气象站的数据或人工采样来揭示土壤水分状况[3]，并以此研究干旱的时空走向。这些方法在展现局部土壤湿度上具备高准确性，但受限于监测站点的稀疏、精确度不足，难以进行大范围的干旱监测[4]。然而随着遥感技术的革新，大尺度长序列、高效实时的干旱时空监测已不再是难题，已成为重要的研究课题。

目前国内外众多学者也对不同区域等进行干旱情况的研究监测[5-7]。研究皆表明，使用TVDI方法监测干旱的状况与变化，是遥感反映土壤湿度、对旱情进行定量评估的有效指标之一[8]，因此本研究认为TVDI适宜监测赤峰地区的干旱状况。目前有大量学者对不同区域的干旱情况进行了研究分析，但对赤峰地区的长序列干旱动态监测却较少。针对研究区的地域考虑，6—8月为植被的主要生长季且夏季是最易发生干旱气象灾害的季节，因此本文主要研究近10 a的6—8月MODIS产品中NDVI和LST数据来计算植被温度干旱指数（TVDI），采用趋势分析法来研究干旱时空变化特征，以期为赤峰地区的干旱防治等提供决策支撑。

1　研究区概况与数据源

1.1　研究区概况

赤峰地区位于内蒙古东南部，总面积90 021 km^2，土地自然类型多样，呈三面环山、西高东低、多山多

作者简介：刘宣（1991—），本科，工程师，主要从事生态遥感与气象服务工作，E-mail：liuxuangrace@sina.cn。

丘陵的地貌特征。赤峰市属于明显的温带半干旱大陆性季风气候区[8]，大部分地区年平均气温为0~7℃，大部地区年降水量为350~450 mm，全市各地日照时数多在2 800~3 100 h，海拔在500~1 500 m之间。夏季较短促而降水集中，由于受地形和季风影响，降水时空分布不均，降水量分布趋势自西南向东北逐渐减少，多年平均蒸发量为1 600~2 500 mm。由于全年的主要降水都集中在夏季，因此本文的研究时段选择夏季6—8月对研究区进行分析。全市水资源总量为38.98亿m^3。水资源人均占有水量851 m^3，是全国人均占有量的40%，远远低于国际公认的人均占有水资源量1 700 m^3的警戒线，属于典型的水资源匮乏地区。当出现降水偏少的现象时，较易出现干旱情况。

1.2　数据源

本文研究所使用的遥感数据归一化植被指数（normalization difference vegetation index，NDVI）和地表温度（land surface temperature，LST）均来自MODIS卫星数据产品，由美国国家航空航天局（https://lpdaacsvc.cr.usgs. gov）提供。其中MOD11A2（地表温度）产品的NDVI数据，空间分辨率为1 km，时间分辨率为8 d[9]；MOD13Q1（植被指数）的LST数据，空间分辨率为250 m，时间分辨率为16 d。以上2个数据产品所用资料的时间段为2014—2023年6—8月。使用MRT、ENVI 5.3和ArcGIS 10.6软件对影像数据进行预处理，包含投影、校正、裁切、重采样等计算过程，得到研究区的植被温度干旱指数（TVDI）。

2　研究方法

2.1　TVDI指数计算

研究表明，温度植被干旱指数（TVDI）能够很好的表征研究区域的土壤水分情况[10]。Sandolt等[11-13]学者在深入研究时发现，通过对归一化植被指数（NDVI）和地表温度（LST）进行拟合分析，这两者所形成的特征空间通常呈现出明显的三角形结构。这一现象表明，NDVI和LST之间存在着显著的负相关关系[14]。具体来说，当NDVI所代表的植被覆盖度降低时，地表水分的蒸发速度会加快，进而导致地表温度的升高[15]。因此TVDI与土壤水分状况具有直接关联性，能够反映植被受水分胁迫的程度[16]。TVDI值的范围介于0~1之间，其中TVDI值越大说明了该区域干旱状况的加剧，而TVDI值越低则表明该地区相对湿润。TVDI的计算公式为：

$$\mathrm{TVDI}=\frac{T_i-T_{i\min}}{T_{i\max}-T_{i\min}} \tag{1}$$

$$T_{i\min}=a_1+b_1\times\mathrm{NDVI} \tag{2}$$

$$T_{i\max}=a_2+b_2\times\mathrm{NDVI} \tag{3}$$

式中，T_i为研究区任意像元的地表温度；$T_{i\min}$为某一NDVI值所对应的最低地表温度，即特征空间的湿边拟合方程；$T_{i\max}$为某一NDVI值所对应的最高地表温度，即特征空间的干边拟合方程；a_1、b_1为湿边拟合方程的常数和系数；a_2、b_2为干边拟合方程的常数和系数。

根据吴黎[17]等学者对植被干旱指数等级的研究，结合研究区域的实际情况，将赤峰地区的TVDI结果划分为5个等级，如表1所示。

表1　TVDI等级划分表

TVDI	干旱等级
0 <TVDI ≤ 0.46	无旱
0.46 < TVDI ≤ 0.57	轻旱
0.57 < TVDI ≤ 0.76	中旱
0.76 < TVDI ≤ 0.86	重旱
0.86 < TVDI ≤ 1.0	特旱

2.2　趋势分析法

对研究区10 a间长序列的TVDI数据计算变化趋势和变化速率，常采用Theil–Sen Median趋势分析法，这是一种稳健的非参数统计的趋势分析方法，其计算效率高且对于测量误差和利群数据不敏感[18-19]。使用Mann–Kendall非参数方法对趋势结果进行趋势显著性检验，该方法除了不受缺失值和异常值的影响外还具有检验值不需要服从正太分布等特点[20]。Sen趋势计算公式为：

$$\beta=\mathrm{Median}\left(\frac{T_j-T_i}{j-i}\right),\forall j>i \tag{4}$$

式中，β为TVDI的趋势变化值；i、j为年份。当$\beta>0$时，测量值为增长趋势，反之为下降趋势。

MK显著性检验计算公式如下：

$$Z=\begin{cases}K/\sqrt{\mathrm{Var}(K)} & (K>0)\\ 0 & (K=0)\\ (K+1)/\sqrt{\mathrm{Var}(K)} & (K<0)\end{cases} \tag{5}$$

其中 $$K=\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n}\mathrm{sgn}(T_j-T_i) \tag{6}$$

$$\mathrm{Var}(K)=\frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \tag{7}$$

$$\mathrm{sgn}(T_j-T_i)=\begin{cases}1 & (T_j>T_i)\\ 0 & (T_j=T_i)\\ -1 & (T_j<T_i)\end{cases} \tag{8}$$

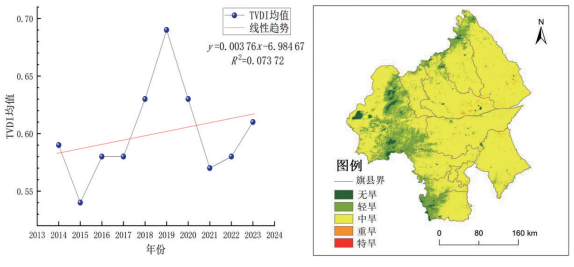
式中，Z 为显著性检验的标准化统计量；K 为显著性检验的统计量；T_j、T_i 为长时间序列的TVDI；n 为研究区域时间序列的总长度，取值为10。

在给定的显著性水平 α 下，正态分布的临界值为 $Z_{1-\alpha/2}$，若得到的 $|Z|>Z_{1-\alpha/2}$，则可认为变化趋势具有显著性，若 $|Z|<Z_{1-\alpha/2}$，则变化趋势不显著。当|Z|大于1.96和2.58时，则可认为趋势通过95%和99%的显著性检验[21-22]。

3 结果与分析

3.1 干旱时空变化

对赤峰地区的2014—2023年植被主要生长季6—8月夏季的TVDI进行逐月分析。从年际变化分析可知，2014—2023年间TVDI的年均值在0.541 3~0.696 1之间（图1a），依据植被干旱指数等级划分表，近10 a均处于轻旱和中旱之间，其中2015年的干旱程度最低，其TVDI值为0.541 3，2019年的干旱程度最高，其TVDI值为0.696 1。通过对年均值的线性拟合趋势发现，不同年际间TVDI以0.003 76/a的速度缓慢增长，通过0.05的显著性检验，主要是2018—2020年这3 aTVDI值均在0.6以上且比其他年份干旱程度都高，因此赤峰地区近10 a的旱情整体呈现缓慢加重的趋势。赤峰地区的多年TVDI均值为0.623 6，达到中度干旱的级别。从TVDI多年平均值分布（图1b）可以看出，地表土壤的干湿情况存在着空间差异，尤其是西部为无旱和轻旱状态，而中部和东部为中旱状态，自西向东呈现干旱加剧的情况。无旱和轻度干旱的区域中主要分布在克什克腾旗大部分区域、北部区域和西南区域，其余大部分区域为中度干旱，该区域占赤峰地区总面积的80.47%。



a 研究区各年均值变化图　　b 研究区多年平均值分布图

图1 TVDI各年均值图和多年平均值分布图

审图号：蒙s(2020)025号

为了更直观地揭示2014—2023年赤峰地区的干旱变化情况，对10 a间的TVDI均值不同干旱等级的面积占比进行了统计分析（图2）。研究发现，赤峰地区夏季在10 a间发生以轻旱和中旱为主的干旱现象，无特旱灾害发生，其中轻旱区域的变化幅度较大，出现了先下降再增长的趋势，多年面积占比在4.39%~40.46%之间；中旱区域所占面积最大，多年面积占比在39.35%~76.09%之间；无旱区域除了2015年占比达到19.69%，其余各年在10 a间变化幅度不大；重旱区域发生的面积最小，只有2019年面积占比达到18.96%，其余年份的面积在0.37%~6.03%之间。2019年是受干旱灾害影响最明显的年份，尤其中旱和重旱占比最多达到峰值，占研究区总面积的76.09%和18.96%。2015年是土壤最为湿润的年份，无旱区域是所有年份中占比最多的，达19.69%，中旱区域是近10 a间受干旱影响最轻的，其面积占比为39.35%。TVDI最小值出现在2015年克什克腾旗为0.33，属于无旱；TVDI最大值是2019年敖汉旗的部分区域为0.85，属于重旱等级。同时从TVDI均值的逐月变化发现，赤峰地区夏季主要生长季中每年6月干旱程度是最重的，从7月份开始逐渐缓解，8月旱情一般是最轻的。

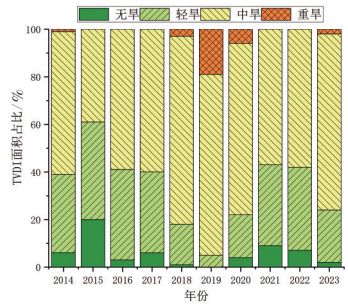
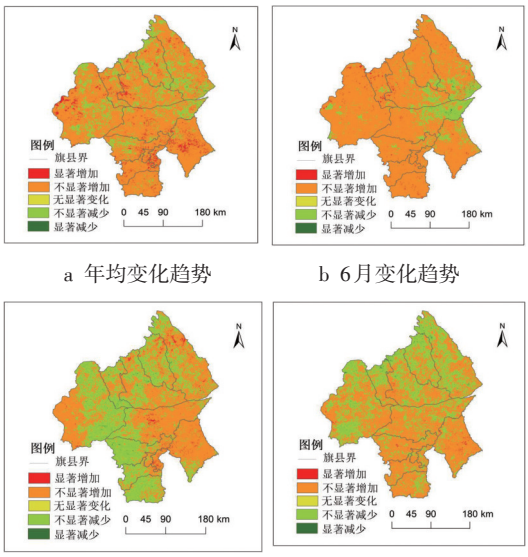


图2 赤峰地区干旱等级面积占比

3.2 干旱空间变化趋势

为了分析10 a来赤峰地区干旱情况在空间上的变化趋势，使用Sen-MK进一步对赤峰地区干旱程度的空间分布特征进行趋势性显著检验，发现空间趋势变化显著，尤其是区域性的差异。从图3a中可以看出赤峰地区近10 a整体上夏季的变化趋势，大部分区域都是不显著增加占总面积的76.98%，其中喀喇沁旗、宁城县和敖汉旗等不显著增加，其余旗县则是不显著减少区域均匀地零星分散。干旱趋势总体上增加的占比大于减少的占比，说明研究区近10 a来的干旱程度呈现缓慢加重的趋势。

同时这种区域性差异在时间上也有所体现，6月份干旱变化趋势中不显著增加的区域最为广泛（图3b），面积占比最高达到85.52%，只有翁牛特旗西部和阿鲁科尔沁旗、巴林右旗及巴林左旗的南部区域是不显著减少，面积占比为13.41%。而到了7月份，这一趋势有所缓和（图3c）。不显著增加的区域下降到55.57%，减少的区域为42.96%，说明干旱程度在较大



a 年均变化趋势　　b 6月变化趋势

c 7月变化趋势　　d 8月变化趋势

图3　2014—2023变化趋势

审图号：蒙s(2020)025号

程度上已经减轻，减轻的区域从研究区西部移至东部和北部。8月份时干旱程度有轻微加重（图3d），不显著增加区域增加到62.30%，减少区域为37.08%主要分布在赤峰地区的北部。综上所述，赤峰地区近10 a的干旱程度呈现出先减少再缓慢增加的趋势。

4　结　语

本文基于2014—2023年MODIS数据，分析了赤峰地区TVDI在不同时间尺度上的空间分布特征与变化趋势。研究结果表明，该地区在夏季（6—8月）易发生不同程度的干旱，以轻旱和中旱为主。TVDI最小值出现在2015年克什克腾旗，为0.33，属无旱状态。该研究为区域干旱监测与评估提供了数据支持。

参考文献

[1] 韩东,王鹏新,张悦,等. 农业干旱卫星遥感监测与预测研究进展[J]. 智慧农业(中英文),2021,3(2):1-14

[2] 崔阳,孙洪泉,夏积德. 安徽省气象干旱扰动下植被响应状况评价[J]. 地理空间信息,2024,22(2):102-105

[3] 管会成,任建成,卢晓宁. 基于SPEI的鲁西北地区干旱变化特征[J]. 地理空间信息,2023,21(2):62-66

[4] 汤连盟,吕伟才,蒲涛,等. 西北地区干旱时空动态分布及成因分析[J]. 遥感信息,2023,38(5):66-72

[5] 程军,李云祯,邹渝. 新疆干旱时空动态及其对气候变化的响应[J]. 自然资源遥感,2022,34(4):216-224

[6] 刘兴忠,胡春,何超,等. 基于NDVI-LST模型的四川攀西地区近20 a干旱演变特征[J]. 干旱气象,2024,42(2):180-186

[7] 齐述华,王长耀,牛铮. 利用温度植被旱情指数(TVDI)进行全国旱情监测研究[J]. 遥感学报,2003,17(5):420-427

[8] 姜蓝齐,王萍,姜丽霞,等. 温度植被干旱指数(TVDI)在农业干旱监测中的应用[J]. 中国农学通报,2021,37(29):132-139

[9] 程小强,周兆叶,李旺平,等. 基于MODIS数据的中亚地区旱情监测及影响因素分析[J]. 农业工程学报,2022,38(10):128-137

[10] Cao S H, Zhang L. Spatiotemporal Characteristics of Drought and Its Impact on Vegetation in the Vegetation Region of Northwest China[J]. Ecological Indicators, 2021, 133:108 420

[11] Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. A Simple Interpretation of the Surface Temperature/Vegetation Index Space for Assessment of Surface Moisure Status[J]. Remote Sensing of Environment,2002,79(2-3):213-224

[12] 樊莉莉,耿斌,王吉林,等. 2001—2020年黄土高原干旱时空动态及其对气候变化的响应[J].水土保持研究,2022,29(6):183- 191

[13] 高培霞,张吴平,梁爽,等. 基于温度植被干旱指数(TVDI)的土壤干湿反演[J]. 灌溉排水学报,2018,37(10):123-128

[14] 杨丽萍,白宇兴,朱江山,等. 基于优选植被指数和TVDI的额济纳绿洲旱情监测[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2021,57(6):727-734

[15] 王椰,史海静,姜艳敏,等. 基于TVDI的黄土高原干旱时空变化与其影响因素[J]. 农业机械学报,2023,54(7):184-195

[16] 温国涛,白建军,孙嵩松. 基于时间序列遥感数据的陕西省2004—2014年干旱变化特征分析[J]. 干旱地区农业研究,2018,36(1):221-229

[17] 吴黎. 基于MODIS数据温度植被干旱指数干旱监测指标的等级划分[J]. 水土保持研究,2017, 24(3):130-135

[18] 张晶言,白建军,于茜. 基于TVDI模型的关中地区春旱时空动态监测[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2017,53(6):799-806

[19] 彭擎,王让会,蒋烨林,等. 植被-地温指数(NDVI-LST)在新疆干旱监测中的适用性[J]. 生态学报,2018,38(13):4 694-4 703

[20] 覃艺,张廷斌,易桂花,等. 2000年以来内蒙古生长季旱情变化遥感监测及其影响因素分析[J]. 自然资源学报,2021,36(2):459-475

[21] 温国涛,白建军,孙嵩松. 基于时间序列遥感数据的陕西省2004—2014年干旱变化特征分析[J]. 干旱地区农业研究,2018,36(1):221-229

[22] 马铭鑫,吴华,尚梦,等. 基于TVDI的拉萨市干旱时空演变特征[J]. 黑龙江科学,2024,15(12): 66- 69