



吴黎,解文欢,李岩,等. 黑龙江省 2000—2021 年干旱变化特征及影响因素分析[J]. 黑龙江农业科学, 2023(9):91-97.

# 黑龙江省 2000—2021 年干旱变化特征及影响因素分析

吴黎<sup>1</sup>,解文欢<sup>1</sup>,李岩<sup>1</sup>,吕志群<sup>1</sup>,张研<sup>1</sup>,张冬梅<sup>2</sup>,宋丽娟<sup>3</sup>,王晓楠<sup>1</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院 农业遥感与信息研究所,黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省农业科学院 草业研究所,黑龙江 哈尔滨 150086; 3. 黑龙江科技大学,黑龙江 哈尔滨 150022)

**摘要:**黑龙江省是我国粮食主产区,20 世纪气温上升较明显,且降雨分布不均,易受干旱灾害影响。为了解黑龙江省不同地区耕地干旱多年变化特征、发生频率、发展趋势及引起干旱变化的气象因素,基于温度植被干旱指数(TVDI),结合趋势分析方法,探究黑龙江省 2000—2021 年来干旱变化和发展趋势特征,并探讨引起省内干旱变化的主要气象因素之间的关系。结果表明,2000—2010 年黑龙江省大兴安岭、三江平原、张广才岭、松嫩平原 4 个区的 TVDI 值较高,较易发生干旱,2013 和 2019 年属于湿润年,其中松嫩平原多年处于干旱状态;按月份分析,5 月和 9 月易处于干旱状态,特别是松嫩平原区,7 月常处于湿润状态,表明省内春秋易发生干旱,夏季较湿润;从干旱发生频率分析,大兴安岭、三江平原、张广才岭和松嫩平原干旱发生频率分别为 70.00%、80.91%、85.45%和 92.73%,强度以轻旱和中旱为主,研究时间段内仅有松嫩平原有 10%概率的重旱发生,该地春季干旱发生频率和强度最大;黑龙江省 22 年来干旱趋势呈基本稳定偏减少,其中东部有干旱趋势轻度增加像元;月干旱趋势中,6 月有明显增加的趋势,面积占比达 61.08%,5 月、7 月、8 月、9 月以基本稳定趋势为主。黑龙江省 TVDI 变化主要取决于降雨量,年 TVDI 与年降雨量呈极显著负相关关系,TVDI 与气温关系不显著。

**关键词:**干旱;干旱趋势;干旱频率;温度植被干旱指数;黑龙江省

农业干旱是指在农作物生长过程中,由于降水不足、土壤含水量过低,致使供水不能满足农作物生长正常需求而造成的农作物减产的现象<sup>[1]</sup>,在世界范围内对经济、环境和社会带来严重损害<sup>[2]</sup>。近几十年,全球气候变暖使得农业干旱频率不断加快<sup>[3]</sup>。干旱过程复杂多样,较难实现预测,因此通过分析历史多年干旱发生的过程、趋势,有助于更好地了解干旱形成的机理,为指导农业抗旱减灾制定科学的应对措施和合理的解决方案提供科学依据。黑龙江省作物属一年一熟制,春旱严重制约作物植株水分,长期干旱会致使作物发育不良从而降低产量,因此只有明确区域时间干旱特征,精准预测干旱发生,才能指导高标准农田精准灌溉,提高作物产量,进而保障国家粮食安全。

遥感技术可实现大面积实时干旱监测,填补了传统气象站点数量少且分布不均的不足,能更全面更直观地反映区域干旱的时空变化特征。遥

感利用地面温度和植被指数特征空间耦合而成的温度植被干旱指数(TVDI)监测干旱方法优越、可行性高。于敏等<sup>[4]</sup>利用 TVDI 监测黑龙江省 2007 年夏季干旱,表明该方法可实时监测干旱,可较真实地反映当地干旱发生、发展的动态过程。钟伟等<sup>[5]</sup>基于 TVDI 进行拉萨地区土壤湿度特征分析,发现 TVDI 与实测的地表土壤湿度有较好的负相关关系。TVDI 模型也被应用于草原和小麦等农作物区的旱情监测和模拟<sup>[6-10]</sup>。

黑龙江省是中国重要的商品粮基地,干旱是黑龙江省主要的农业气象灾害之一,据统计 2000—2019 年间黑龙江省平均每年农作物受旱面积达 212.87 万  $\text{hm}^2$ 。其中 2000 年夏季干旱严重<sup>[11]</sup>,全省受旱面积达 501.6 万  $\text{hm}^2$ ,干旱时间长达 30~40 d;2002 年全省气温普遍偏高,西北降水少,干旱形势严峻<sup>[12]</sup>。干旱发生严重影响了粮食产量。目前,学者对黑龙江省开展的干旱时空变化及趋势分析研究主要以气象站点数据和统计数据为基础,如于家瑞等<sup>[13]</sup>利用 1953—2015 年降水数据计算不同时间尺度下的 SPI,由其变化速率分析黑龙江省干旱变化过程;李险峰等<sup>[14]</sup>采用 SPI 分析黑龙江省近 60 年的气候干湿时空格局特征;张

收稿日期:2023-04-26

基金项目:国家重点研发计划课题“基于大数据耕地资源评价利用技术与工具”(2022YFF0711803);黑龙江省省属科研院所科研业务费项目(CZKYF2021-2-B010)。

第一作者:吴黎(1983—),女,硕士,副研究员,从事农业灾害研究。E-mail:aromawu@163.com。

剑侠等<sup>[15]</sup>利用 1976—2005 年气象站点和农业气象灾害数据分析干旱空间分布规律。

本文引用黑龙江省 TVDI 干旱等级划分标准<sup>[16]</sup>,对黑龙江省 2000—2021 年间农作物生长季内月平均 TVDI 进行干旱分级,进一步分析 22 年来干旱时空变化特征,利用趋势分析法研究黑龙江省逐像元及全区的干旱发展趋势及其分布情况,结合同时期的气象数据探讨干旱时空变化规律与降雨量、气温的响应关系。为后期干旱精准预测、预报工作提供数据支撑,对监测的干旱区进行精准灌溉,降低农民损失,促进农民增收,保障粮食安全具有突破性的意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

黑龙江省地处我国最北,是纬度最高的省份,位于  $43^{\circ}25'N \sim 53^{\circ}33'N$ ,  $121^{\circ}11'E \sim 135^{\circ}05'E$  之间,总土地面积 47.3 万  $km^2$ ,约占全国总面积的 4.7%,排全国第 6 位,是全国最大的商品粮基地。黑龙江省属寒温带和温带大陆性季风气候,雨热同期,夏季炎热多雨且短暂,冬季寒冷干燥且漫长,年平均气温在  $-6^{\circ}C \sim 4^{\circ}C$  之间,是典型的旱作农业区,农作物熟制属一年一熟。黑龙江省根据农业生产和生态环境特征分为大小兴安岭林业区、三江平原农牧区、张广才岭农林区和松嫩平原农牧区等 4 个地区<sup>[17]</sup>。

### 1.2 数据来源

本文所需遥感数据来源于中国科学院计算机网络信息中心(<http://www.nsdata.cn/>),包括空间分辨率 1 km 的植被指数(MOD13A2)和地表温度(MOD11A2)数据。文中采用最大值法将相邻 2 期 MOD11A2(时间分辨率 8 d)数据合成 16 d 数据,达到与 MOD13A2 时间分辨率相吻合的目的。数据时间为 2000—2021 年,每年的 5 月初至 9 月末,涵盖农作物的整个生育期。

气象数据来源于中国气象数据共享网(<http://cdc.nmic.cn/>),包含月平均降雨量和月平均气温数据。由于未收集到 2020—2021 年数据,因此本文气象数据时间为 2000—2019 年。

土地利用数据 MODIS Land Cover(MCD12Q1)来源于网站(<https://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>),本文下载的为 2013 年空间分辨率 500 m 的 MCD12Q1 数据,本研究假设每年耕地范围不变,得到黑龙江省耕地信息<sup>[18]</sup>,利用 MODISTOOL 工具,将 MCD12Q1 空间分

辨率重采样为 1 km,与前面遥感数据空间分辨率相吻合。

### 1.3 研究方法

1.3.1 温度植被干旱指数(TVDI)法 Sandholt 等<sup>[19]</sup>在研究 NDVI-Ts 特征空间时提出了温度植被干旱指数(TVDI)监测地表湿度状况,计算公式为:

$$TVDI = \frac{T_s - T_{s_{\min}}}{T_{s_{\max}} - T_{s_{\min}}} \quad (1)$$

$$T_{s_{\max}} = a_1 + b_1 \times NDVI \quad (2)$$

$$T_{s_{\min}} = a_2 + b_2 \times NDVI \quad (3)$$

将公式(2)(3)代入公式(1)得到公式(4)。

$$TVDI = \frac{T_s - (a_2 + b_2 \times NDVI)}{(a_1 + b_1 \times NDVI) - (a_2 + b_2 \times NDVI)} \quad (4)$$

式中, $T_s$  为地表温度; $T_{s_{\min}}$  为相同 NDVI 条件下的最小地表温度; $T_{s_{\max}}$  为相同 NDVI 条件下的最大地表温度。其中  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $b_1$ 、 $b_2$  为拟合方程系数。

基于 TVDI 的干旱等级划分: $0 < TVDI < 0.46$  为无旱; $0.46 \leq TVDI < 0.57$  为轻旱; $0.57 \leq TVDI < 0.76$  为中旱; $0.76 \leq TVDI < 0.86$  为重旱; $0.86 \leq TVDI < 1.00$  为特旱<sup>[16]</sup>。为方便绘图,将 TVDI 值扩大 100 倍,即 TVDI 值在 0~100 间,其等级范围值同样扩大 100 倍。即  $0 < TVDI < 46$  为无旱; $46 \leq TVDI < 57$  为轻旱; $57 \leq TVDI < 76$  为中旱; $76 \leq TVDI < 86$  为重旱; $86 \leq TVDI < 100$  为特旱。

1.3.2 趋势分析法 趋势分析法可逐像元模拟其研究时间范围内的变化趋势。通过计算每个像元的年 TVDI 平均值,获得 2000—2021 年每年平均 TVDI 的空间分布情况,采用趋势分析法分析时间序列中 TVDI 的变化趋势,从而得到干旱的变化情况。公式<sup>[20]</sup>为:

$$\theta_{slope} = \frac{m \times \sum_{i=1}^m (i \times TVDI_i) - \sum_{i=1}^m i \sum_{i=1}^m TVDI_i}{m \times \sum_{i=1}^m i^2 - (\sum_{i=1}^m i)^2} \quad (5)$$

式中, $\theta_{slope}$  为某个像元 TVDI 年际变化的斜率; $m$  为时间序列的总年数( $m=22$ ); $TVDI_i$  为该像元第  $i$  年 TVDI 平均值;当  $\theta_{slope} > 0$ ,表明该像元有干旱的趋势, $\theta_{slope} < 0$ ,表明该像元有湿润的趋势。

吴英杰等<sup>[21]</sup>对变化趋势进行统计检验,根据变化趋势值大小将其划分为 5 个等级:明显减少

( $\theta_{slope} \leq -0.015$ 、轻度减少( $-0.015 < \theta_{slope} \leq -0.005$ )、基本稳定( $-0.005 < \theta_{slope} \leq 0.005$ )、轻度增加( $0.005 < \theta_{slope} \leq 0.015$ )、明显增加( $\theta_{slope} > 0.015$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 黑龙江省 2000—2021 年干旱时间变化特征

在研究时间段内计算年平均 TVDI 值,得到黑龙江省 4 个地区的 2000—2021 年年干旱时序变化图(图 1)。从 22 年整体来看 2013 年、2019 年 4 个地区 TVDI 值均较小,代表 2013 年、2019 年较其他年份相比湿润。2013 年 4 个区 TVDI 最大值为松嫩平原,处于无旱状态;2019 年 4 个区 TVDI 最大值为张广才岭,处于轻旱状态。

从 22 年每年 4 个区来看,松嫩平原 TVDI 值均高于其他 3 个区,除 2013 年和 2019 年外 TVDI 最小值处于中旱状态,表明多年来松嫩平原区普遍处于较干旱状态;大小兴安岭 TVDI 值普遍低于其他 3 个区,22 年中只有 3 年 TVDI 值为中旱状态,其他均为无旱或轻旱状态,表明大小兴安岭区普遍处于较湿润状态。

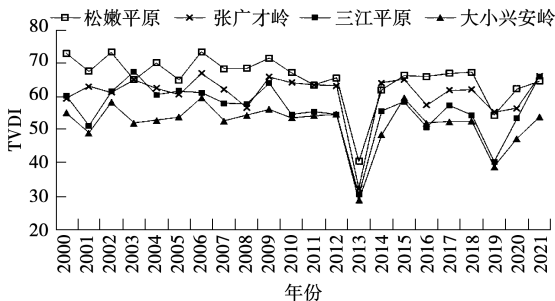


图 1 黑龙江省 4 个地区 2000—2021 年 TVDI 变化图

从黑龙江省 4 个区逐月干旱变化特征来看(图 2),5 月松嫩平原、张广才岭和三江平原 TVDI 值较高,均处于中旱状态,其中松嫩平原值最高,接近重旱状态,表明松嫩平原 5 月干旱明显,这是因为该地降水少且受风沙影响严重;6 月除三江平原外,其他地区较 5 月 TVDI 值均有所下降,表明干旱在该月份有所缓解;7 月 TVDI 值较低,表明省内夏季较湿润;9 月 TVDI 平均值有所回升,黑龙江省属一年一熟制,秋季为收获季节,此时少雨高温对农作物成熟有利。4 个区中大小兴安岭常年受干旱影响最小。

从黑龙江省 4 个区干旱发生频率来看,在研究时间段内共 110 个月份的数据中,大兴安岭地

区有 33 个月份为无旱状态,无旱发生频率为 30%;三江平原地区有 21 个月份为无旱状态,无旱发生频率为 19.09%;张广才岭地区有 16 个月份为无旱状态,无旱发生频率为 14.55%;松嫩平原地区有 8 个月份为无旱状态,无旱发生频率为 7.27%。各地区其余月份干旱主要集中在轻旱或中旱状态。仅有松嫩平原 11 个月份存在重旱现象,重旱频率为 10%,且重旱集中出现在春季。黑龙江省大小兴安岭、三江平原、张广才岭和松嫩平原 4 个地区干旱发生总频率分别是:70.00%、80.91%、85.45%和 92.73%。干旱发生频率和强度最大的是西部松嫩平原,其次是张广才岭,而很少发生干旱的是大小兴安岭(图 3)。

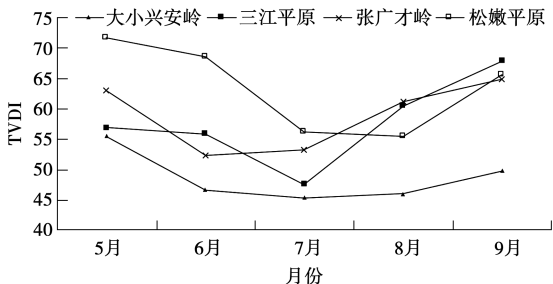


图 2 黑龙江省 4 个地区 2000—2021 年 TVDI 月份变化图

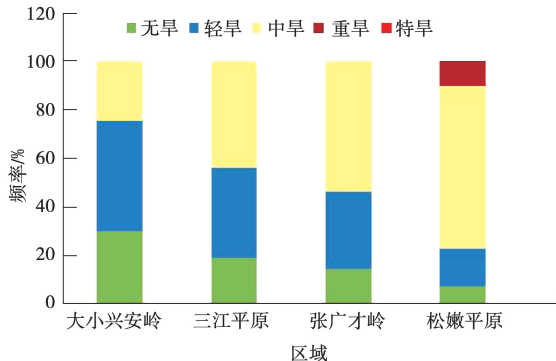


图 3 黑龙江省 2000—2021 年 4 个地区干旱发生频率

### 2.2 黑龙江省 2000—2021 年干旱空间趋势特征

通过 2000—2021 逐年 TVDI 值,基于趋势分析方法利用公式(5),分析 2000—2021 年黑龙江省像元尺度的 TVDI 变化趋势。由图 4 可知,轻度增加面积占比为 5.46%,主要分布在三江平原和张广才岭;轻度减少面积占比为 14.53%,主要分布在松嫩平原和三江平原;基本稳定面积占比最大为 78.44%,其中稳定偏减小( $-0.005 < \theta_{slope} < 0$ )的面积占 51.23%;明显减少和明显增加的面积占比均较小。综上分析可知,22 年来黑龙江省变化趋势为基本稳定偏减小,其中东部有干旱趋势轻度增加像元。



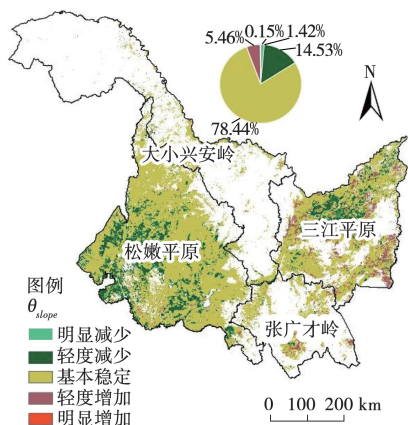
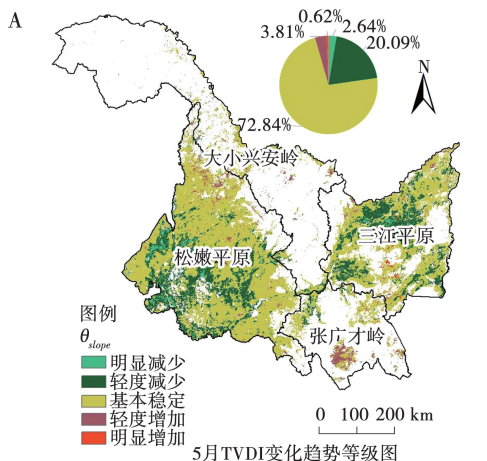


图4 2000—2021年黑龙江省TVDI年际变化趋势类型空间分布

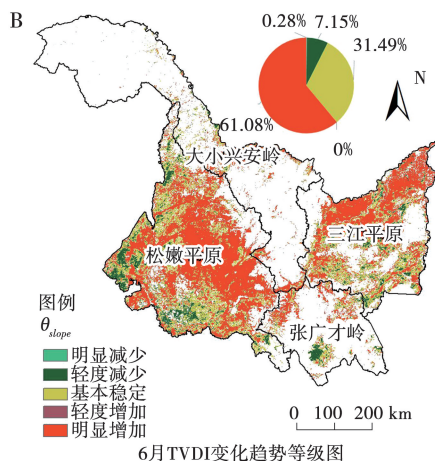
通过2000—2021年月TVDI值,基于趋势分析方法利用公式(9),分析2000—2021年黑龙江省像元尺度的月TVDI变化趋势(图5)。5月中基本稳定趋势占比72.84%,其中基本稳定减少趋势( $\theta_{slope} < 0$ )占59.46%,基本稳定增加趋势( $\theta_{slope} > 0$ )占40.54%;轻度减少趋势占比20.09%,明显减少、轻度增加和明显增加趋势占比均小于5%,表明5月份全省干旱呈基本稳定

偏减少趋势,少量轻度增加和明显增加趋势在张广才岭地区(图5A)。6月中明显增加趋势占比61.08%,表明全省一半比例地区干旱有明显增加的趋势,这与省内6月少雨,温度升高相吻合;基本稳定趋势占比31.49%,轻度减少趋势占比7.15%,基本稳定和轻度减少趋势主要分布在齐齐哈尔市、讷河市、嫩江县、肇源县、肇州县、肇东市、虎林市和宁安市等地(图5B)。7月基本稳定趋势占比71.12%,轻度减少占比10.41%,主要分布在南部和东部地区;轻度增加占比9.02%,主要分布在西部和东北部地区(图5C)。8月基本稳定趋势占比84.29%,轻度增加趋势占比13.54%,主要分布在西部和东部的友谊县、富锦市、集贤县、桦川县等地(图5D)。9月基本稳定趋势占比75.70%,轻度增加趋势占比14.20%,主要分布在西部和东部的绥滨县、富锦市、友谊县、桦川县等地;轻度减少趋势占比9.50%,主要分布在中南部和东南部(图5E)。

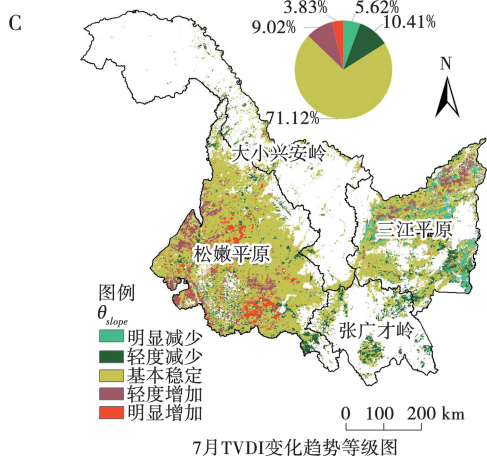
各月份干旱总体趋势为6月以明显增加趋势为主,5月—9月以基本稳定趋势为主,因此省内应该注重6月的灌溉,以避免干旱的发生和发展对作物造成减产的风险。



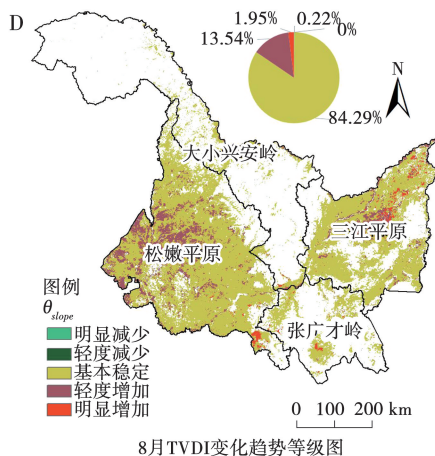
5月TVDI变化趋势等级图



6月TVDI变化趋势等级图



7月TVDI变化趋势等级图



8月TVDI变化趋势等级图

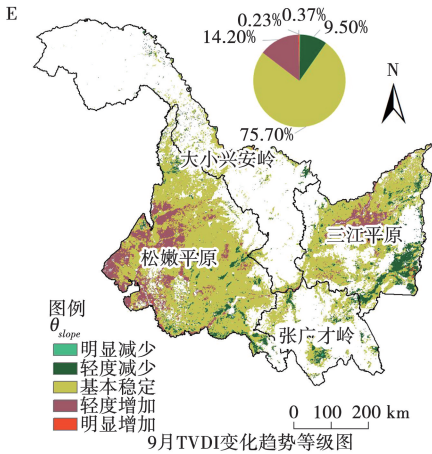


图 5 黑龙江省 TVDI 月变化趋势类型空间分布

2.3 黑龙江省影响 TVDI 变化的气象因素分析

为了探明气象因子与 TVDI 变化之间的关系,本研究分析了 TVDI 变化与降雨量和气温的相关关系。因未获取到 2020—2021 年气象数据,因此本文采用 2000—2019 年的降雨量和气温与年平均 TVDI 进行关系分析。以每年 5 月—9 月的月降雨量之和作为生长季年降雨量,以每年 5 月—9 月的月气温的平均值作为生长季年平均气温,计算研究区内 31 个气象站点的年平均气温和年降雨量,同时取各站点的平均值代表黑龙江省年平均气温及年降雨量情况,并采用一元线性回归法对时间序列进行分析,得到 20 年间黑龙江省年降水量与年平均气温的变化情况(图 6)。

由图 6A 可知,黑龙江省年降水量值在 300~650 mm 之间,且逐年呈增加趋势( $P<0.01$ ),表明年降雨量逐年有极显著增加趋势;由图 6B 显示年平均气温在 17~19℃之间波动,无明显的变化趋势。

将黑龙江省 20 年的年平均 TVDI 与年降雨量和年平均气温做 Pearson 相关性分析,找到影响 TVDI 变化的主要因素。结果表明省内年降雨量与年 TVDI 呈极显著负相关关系(图 7),相关系数为-0.58。年平均气温与年 TVDI 关系不明显,未通过 0.05 水平的显著性检验。结果说明,黑龙江省 TVDI 变化主要取决于气象因素中的降雨量,降雨量的增加是影响黑龙江省 2000—2019 年 TVDI 减小的主要因素,是干旱减弱的主要限制型因子。

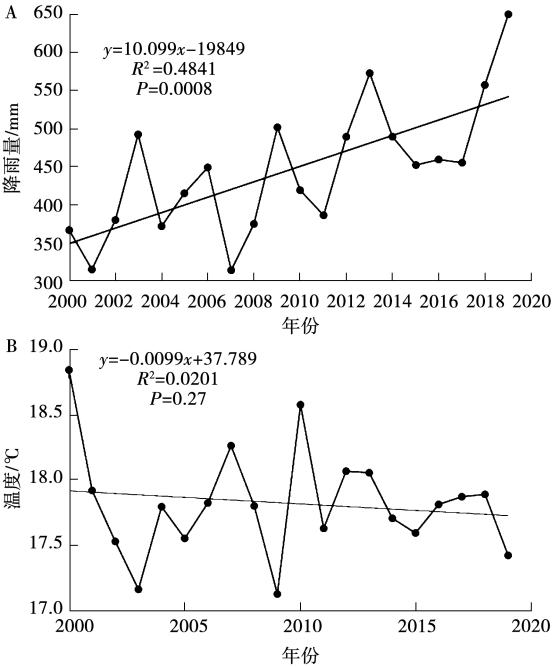


图 6 黑龙江省 2000—2019 年降雨量和年平均气温

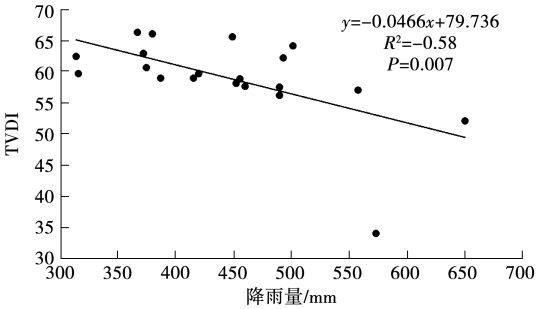


图 7 黑龙江省 2000—2019 年 TVDI 与降雨量关系

### 3 讨论

本研究表明 TVDI 指数可以较好地表征研究区多年干旱变化特征情况,并采用趋势分析法对黑龙江省 2000—2021 年来逐年和逐月的干旱变化趋势进行了分析。李崇瑞等<sup>[22]</sup>利用 SPEI 分析东北地区 1989—2018 年时间尺度玉米干旱规律,提出东北地区整体干旱呈现偏轻-偏重-偏轻的趋势。而本文结果为减少趋势即偏轻趋势,出现这种不同的原因是两者研究的时间范围不同,前者研究的时间是 1989—2018 年,整体干旱趋势年份是 1989—1999 年(偏轻),2000—2010 年(偏重),2011—2018 年(偏轻),而本研究采用的时间是 2000—2021 年,2000—2010 年是干旱较重时期,总体变化趋势是减少趋势,与李崇瑞等<sup>[22]</sup>2000—2018 年同时间段的结果相一致。

李崇瑞等<sup>[22]</sup>还指出 2000—2010 年东北地区干旱较为严重,且干旱高发月为 5 月,在黑龙江西南部等地区干旱发生概率较高。本研究 5 月松嫩平原和张广才岭 5 月均处于干旱状态,干旱频率分别为 92.73%和 85.45%。其结果大概一致,存在不同的原因是前后两者的研究分区不同,前者研究的是东北地区,指黑龙江西南部大概范围,而本研究将全省划分为 4 个区,其西南部主要包含松嫩平原和张广才岭区;同时前者还提出 9 月份干旱面积有所增加,作物处于生长发育晚期,因此此时的干旱对产量影响较小,与本研究结果相同。

李崇瑞<sup>[22]</sup>还通过考虑海拔等影响的 ANUS-PLIN 专业气象数据插值软件对所有气象因子数据进行空间插值,获取区域面数据,虽准确度有所提升,但由于区域、环境、气候的复杂性,本研究利用 TVDI 逐像元地监测研究区的面数据干旱特征更具有优势。

受 MODIS 数据时间限制,只研究了 2000—2021 年的黑龙江省 TVDI 变化特征情况,在分析变化趋势上虽采用了趋势分析方法,但数据年限少的影响依然存在。趋势特征往往与研究的时间尺度紧密相关,因此未来将随着 MODIS 数据存档数量的增加或从多数据源入手,加长时间序列,开展更长时间的遥感干旱分析研究,将对干旱的变化分析更有指导意义。

### 4 结论

从黑龙江省 2000—2021 年年 TVDI 来看,2000—2010 年较易发生干旱,2013 和 2019 年属于湿润年,4 个区中松嫩平原多年普遍处于干旱状态;从月 TVDI 来看,5 月和 9 月易处于干旱状态,特别是松嫩平原区,7 月常处于湿润状态,表明省内春秋易发生干旱,夏季较湿润;从干旱总发生频率来看松嫩平原干旱频率最大且存在 10%频率的重旱发生,其次是张广才岭,最小的是大小兴安岭。黑龙江省 22 年来干旱趋势呈基本稳定偏减少,其中东部有干旱趋势轻度增加像元;月干旱趋势中,6 月有明显增加的趋势,面积占比达 61.08%,5 月、7 月、8 月、9 月以基本稳定趋势为主,表明 6 月干旱有增加的趋势,应注重人工灌溉来缓解干旱发生。黑龙江省 TVDI 的变化主要由降雨量决定。降雨是干旱变化的主要限制型因子,年降雨量的增加使得黑龙江省年内 TVDI 值减小,也是省内干旱减弱的一个主要因素。本研究中土地利用类型为耕地,其对天然降水变化响应显著。

#### 参考文献:

- [1] 张瑾,王斌,白建军.基于植被状态指数的甘肃省 2000—2019 年干旱时空特征分析[J].水土保持研究,2022,29(6):167-173,182.
- [2] 梁任刚,周旭,李松,等.基于 CWSI 的贵州省干旱时空变化特征及影响因素分析[J].水土保持研究,2022,29(3):284-291.
- [3] 黄梦杰,贺新光,卢希安,等.长江流域的非平稳 SPI 干旱时空特征分析[J].长江流域资源与环境,2020,29(7):1597-1611.
- [4] 于敏,程明虎.基于 NDVI-Ts 特征空间的黑龙江省干旱监测[J].应用气象学报,2010,21(2):221-228.
- [5] 钟伟,卢宏伟,管延龙,等.基于温度植被指数 TVDI 的拉萨地区土壤湿度特征分析[J].中国农村水利水电,2021(12):91-98.
- [6] 鲍艳松,严婧,闵锦忠,等.基于温度植被干旱指数的江苏淮北地区农业旱情监测[J].农业工程学报,2014,30(7):163-172.
- [7] 陈斌,张学霞,华开,等.温度植被干旱指数(TVDI)在草原干旱监测中的应用研究[J].干旱区地理,2013,36(5):930-937.
- [8] 刘立文,张吴平,段永红,等.TVDI 模型的农业旱情时空变化遥感应用[J].生态学报,2014,34(13):3704-3711.
- [9] 孙丽,王飞,吴全.干旱遥感监测模型在中国冬小麦区的应用[J].农业工程学报,2010,26(1):243-249.
- [10] 杜灵通,候静,胡悦,等.基于遥感温度植被干旱指数的宁夏 2000—2010 年旱情变化特征[J].农业工程学报,2015,31(14):209-216.
- [11] 李廷全,王萍,祖世亨.黑龙江省 2000 年农业气象灾害综述[J].黑龙江气象,2001(2):13-15.

[12] 王萍,王桂霞,石剑,等. 黑龙江省 2002 年农业气象灾害综述[J]. 黑龙江气象,2003(3):24-25.

[13] 于家瑞,艾萍,袁定波,等. 基于 SPI 的黑龙江省干旱时空特征分析[J]. 干旱区地理,2019,42(5):1059-1068.

[14] 李险峰,朱海霞,李秀芬,等. 1961—2018 年黑龙江省干湿气候的时空格局特征[J]. 东北林业大学学报,2019,47(12):73-78,99.

[15] 张剑侠,孙彦坤,王晨轶,等. 黑龙江省近 30 a 干旱发生规律及趋势分析[J]. 黑龙江气象,2010,27:20-25.

[16] 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.

[17] 刘巍. 黑龙江省灌溉水利用效率时空分异规律及节水潜力研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2017.

[18] 朱闯,刘沁萍,田洪阵. 2001—2017 年中国土地利用时空变化[J]. 中国资源综合利用,2019,37(9):70-71,74.

[19] SANDHOLT I RASMUSSEN K, ANDERSEN J. A simple interpretation of the surface temperature-vegetation index space for assessment of surface moisture status [J]. Remote Sensing of Environment,2002,79:213-224.

[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] 吴英杰,全强,陈晓俊,等. 2000—2018 年锡林郭勒地区干旱时空变化及其气候响应[J]. 干旱区地理,2020,43(5):1289-1297.

[22] 李崇瑞,游松财,武永峰. 东北地区干旱特征与春玉米生长季干旱主导气象因子[J]. 农业工程学报,2020,36(19):97-106.

# Analysis of Drought Variation Characteristics and Influencing Factors in Heilongjiang Province from 2000 to 2021

WU Li<sup>1</sup>, XIE Wenhuan<sup>1</sup>, LI Yan<sup>1</sup>, LÜ Zhiqun<sup>1</sup>, ZHANG Yan<sup>1</sup>, ZHANG Dongmei<sup>2</sup>, SONG Lijuan<sup>3</sup>, WANG Xiaonan<sup>1</sup>

(1. Institute of Agricultural Remote Sensing and Information, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 2. Institute of Forage and Grassland Sciences, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 3. Heilongjiang University of Science and Technology, Harbin 150022, China)

**Abstract:** Heilongjiang Province is the main crop producing area in China. In the 20th century, the temperature rose obviously, and the rainfall distribution was uneven, which was vulnerable to drought disasters. In order to understand the characteristics, frequency, development trend and meteorological factors of field drought in different regions of Heilongjiang Province, based on the temperature vegetation drought index (TVDI), combined with the trend analysis method, the characteristics of drought change and development trend in Heilongjiang Province in the past 22 years were explored, and the main meteorological factors causing drought change in the province and the relationship between meteorological drought index were discussed. The results showed that the TVDI of the four districts in 2000—2010 was higher and more prone to drought. In 2013 and 2019, it was a humid year, and the Songnen Plain in the four districts was in a drought state for many years. From the month analysis, May and September were prone to drought, especially in the Songnen Plain, and July was often in a wet state, indicating that the province was prone to drought in spring and autumn, and wet in summer. The frequency of drought in Daxing'an Mountains and Xiaoxing'an Mountains, Sanjiang Plain, Zhangguangcai Mountains and Songnen Plain were 70.00%, 80.91%, 85.45% and 92.73%, respectively, during the 110 months of crop growth season. The intensity was mainly light drought and moderate drought. During the study period, only the Songnen Plain had a 10% probability of severe drought. The frequency and intensity of spring drought in this area were the highest, and the drought in Daxing'an Mountains and Xiaoxing'an Mountains was the least affected. In the past 22 years, the drought trend in Heilongjiang Province has been basically stable and decreasing, and the drought trend in the eastern part has increased slightly. In the monthly drought trend, there was a significant increase in June, and the area accounted for 61.08%. In May, July, August and September, the trend was basically stable. The change of TVDI in Heilongjiang Province mainly depended on rainfall, and meteorological drought will lead to agricultural drought. The annual TVDI was negatively correlated with annual rainfall, and all pass the extremely significant test of  $P < 0.01$ . The relationship between TVDI and temperature was not significant, which is related to the land type studied in this paper.

**Keywords:** drought; drought trend; drought frequency; Temperature Vegetation Drought Index (TVDI); Heilongjiang Province