

温度条件指数(TCI)在西南地区不同类型干旱监测中的适用性评估

王 欣, 李谢辉*

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

收稿日期: 2026年8月1日; 录用日期: 2026年8月27日; 发布日期: 2026年9月3日

摘 要

全球气候变暖背景下, 中国西南地区干旱频发, 严重威胁农业生产与生态安全。温度条件指数(TCI)是常用的热红外遥感干旱监测指标, 但在复杂地形区的适用性尚不明确。本文基于2010~2022年MODIS地表温度数据计算TCI, 以SPEI为参照, 评估TCI在2010年降水连续亏缺型冬春连旱与2022年高温型极端干旱中的监测能力。结果表明: 降水亏缺的2010年干旱中, TCI响应滞后明显, 与灾情记录吻合度低; 高温胁迫的2022年干旱中, TCI对热异常响应灵敏, 能有效捕捉干旱演变过程。空间上, TCI在四川盆地及喀斯特山区精度较高, 但在高植被区敏感性不足。总之, 单一指数在西南地区不同干旱类型下表现差异显著, 应根据主导胁迫因子(水分亏缺或热力异常)灵活选用或联合多指数监测。

关键词

温度条件指数TCI, 干旱监测, 适用性评估, 西南地区

Applicability Assessment of the Temperature Condition Index (TCI) for Drought Monitoring under Different Drought Types in Southwest China

Xin Wang, Xiehui Li*

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Received: August 1, 2026; accepted: August 27, 2026; published: September 3, 2026

*通讯作者。

文章引用: 王欣, 李谢辉. 温度条件指数(TCI)在西南地区不同类型干旱监测中的适用性评估[J]. 气候变化研究快报, 2026, 15(5): 916-929. DOI: 10.12677/ccrl.2026.155097

Abstract

Under global warming, Southwest China experiences frequent droughts that severely threaten agricultural production and ecological security. The Temperature Condition Index (TCI), a commonly used thermal infrared remote sensing drought monitoring indicator, has unclear applicability in regions with complex terrain. Using MODIS land surface temperature data from 2010 to 2022, this study calculated TCI and, with reference to the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), evaluated its monitoring capability for the 2010 precipitation-deficit autumn-winter drought and the 2022 high-temperature extreme drought. The results show that during the 2010 drought dominated by precipitation deficit, TCI exhibited a pronounced response lag and low consistency with disaster records. During the 2022 drought dominated by high-temperature stress, TCI responded sensitively to thermal anomalies and effectively captured the drought evolution process. Spatially, TCI achieved higher accuracy in the Sichuan Basin and karst mountainous areas, but showed insufficient sensitivity in densely vegetated regions. Overall, a single index performs markedly differently under different drought types in Southwest China; therefore, flexible selection or combination of multiple indices should be applied according to the dominant stressor (water deficit or thermal anomaly).

Keywords

Temperature Condition Index (TCI), Drought Monitoring, Applicability Assessment, Southwest China

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

全球气候变暖背景下,中国西南地区极端干旱事件呈增多增强趋势。该区域山地与喀斯特地貌广布,降水时空分布不均,土壤保水能力弱,干旱灾害频发,对农业生产、生活供水及生态系统造成严重影响[1][2]。传统干旱监测依赖气象站点数据,但西南地区站点较稀疏,难以准确刻画大范围干旱的空间异质性[3]。遥感技术凭借大范围、高时效的优势,已成为区域干旱监测的重要手段。

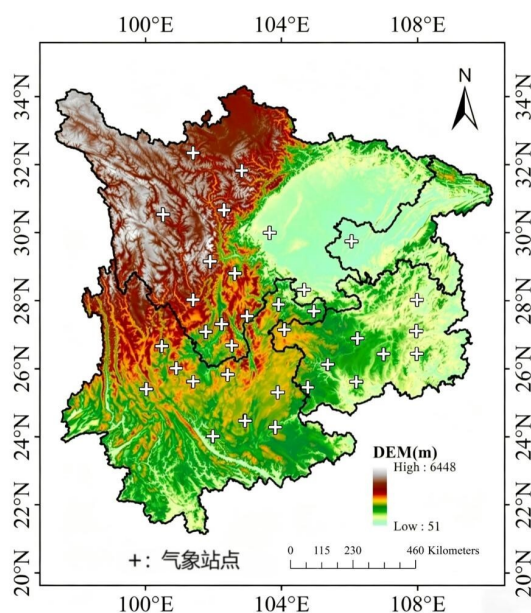
在各类遥感干旱指标中,温度条件指数(Temperature Condition Index, TCI)基于地表温度(LST)构建,通过反映土壤水分亏缺引起的地表热环境异常来表征干旱程度。相比依赖植被绿度的指数,TCI对高温与水分短缺叠加产生的热胁迫更为敏感,在干旱监测和预警中具有独特优势。目前,TCI已广泛应用于全球不同气候区的干旱监测研究中,从而提升了综合监测能力[4][5]。在亚热带湿润区、喀斯特地貌及山地高原区,国外学者发展了地形校正、云雾去除及多源数据融合等技术[6][7],为复杂地形区TCI的应用提供了方法参考。

国内遥感干旱监测研究起步相对较晚,早期集中在北方干旱、半干旱区,并验证了TCI在平原及草原地带的适用性[8]-[10]。近年来,研究逐步拓展至西南山地与喀斯特区域。针对地形干扰,研究者利用DEM数据开展地形校正,针对南方多云雾导致的数据缺失,采用时序重构与插值技术修复数据提高了监测精度[11][12]。然而,现有工作仍多以北方区域为主,西南复杂地形地貌区缺乏针对TCI的分类型、分场景系统性适用性评估,尤其是在降水连续亏缺型与高温胁迫型干旱中的表现差异尚不明确。基于此,

本文以西南地区为研究区,选取 2010 年降水连续亏缺型冬春连旱与 2022 年高温型极端干旱为典型案例,以历史灾情记录和 SPEI 为基准,系统评估 TCI 在不同干旱类型下的监测适用性,以期为区域干旱遥感监测提供科学依据。

2. 研究区概况

西南地区($97^{\circ}27'E\sim110^{\circ}18'E$, $20^{\circ}53'N\sim34^{\circ}14'N$)包括四川、重庆、贵州、云南三省一市,属亚热带季风与高原山地过渡性气候[13]。地势总体西高东低、北高南低,自西向东依次为川西高原、云贵高原中高山地及四川盆地(图 1)。受孟加拉湾水汽输送与南支槽活动影响,该区为全国干旱高发地带之一。高原季风与东南季风交汇,气候干湿季分明,降水高度集中于夏季[14]。喀斯特地貌广泛分布,土层浅薄,蓄水保墒能力差,遇持续少雨或高温天气极易诱发干旱灾害。



注: 该图基于国家地理中心公共服务平台下载的审图号为 GS(2016)2923 的标准地图制作, 底图无修改。

Figure 1. Geographical location and elevation distribution of Southwest China

图 1. 西南地区地理位置和高程分布

3. 数据与方法

3.1. 数据资料

MODIS 地表温度产品(MOD11A2)来源于美国航空航天局(NASA),选取 2010~2022 年逐月合成数据,空间分辨率 1 km。原始数据经大气校正、去云处理、投影转换及研究区裁剪后,用于计算 TCI。气象数据取自中国气象数据网,收集研究区及周边 115 个地面气象站点的逐月降水量与平均气温(2010~2022 年),据此计算 SPEI,作为干旱验证的基准。

3.2. 研究方法

采用历史干旱事件对比分析与 SPEI 交叉验证相结合的策略。选取 2010 年(持续性降水亏缺型冬春连旱)与 2022 年(极端高温叠加少雨型夏秋连旱)两次典型事件,通过对比 TCI 监测结果与实际灾情记录的时空一致性,定性评估 TCI 对不同类型干旱的识别能力。同时,以 SPEI-3 (3 个月)为参考值,计算 TCI

与 SPEI 的空间相关系数与显著性, 定量评估 TCI 对地表水分盈亏状况的表征精度。

3.2.1. 温度条件指数(TCI)

TCI 基于地表温度(LST)构建, 通过表征地表热环境异常间接反映土壤水分亏缺, 其计算公式为[15]:

$$TCI = 100 \times \frac{LST_{max} - LST}{LST_{max} - LST_{min}}$$

其中, LST 为当期地表温度, LST_{max} 和 LST_{min} 分别为历史同期地表温度的最大值与最小值。TCI 值域为 0%~100%, 值越低表示高温胁迫越严重, 干旱程度越高。

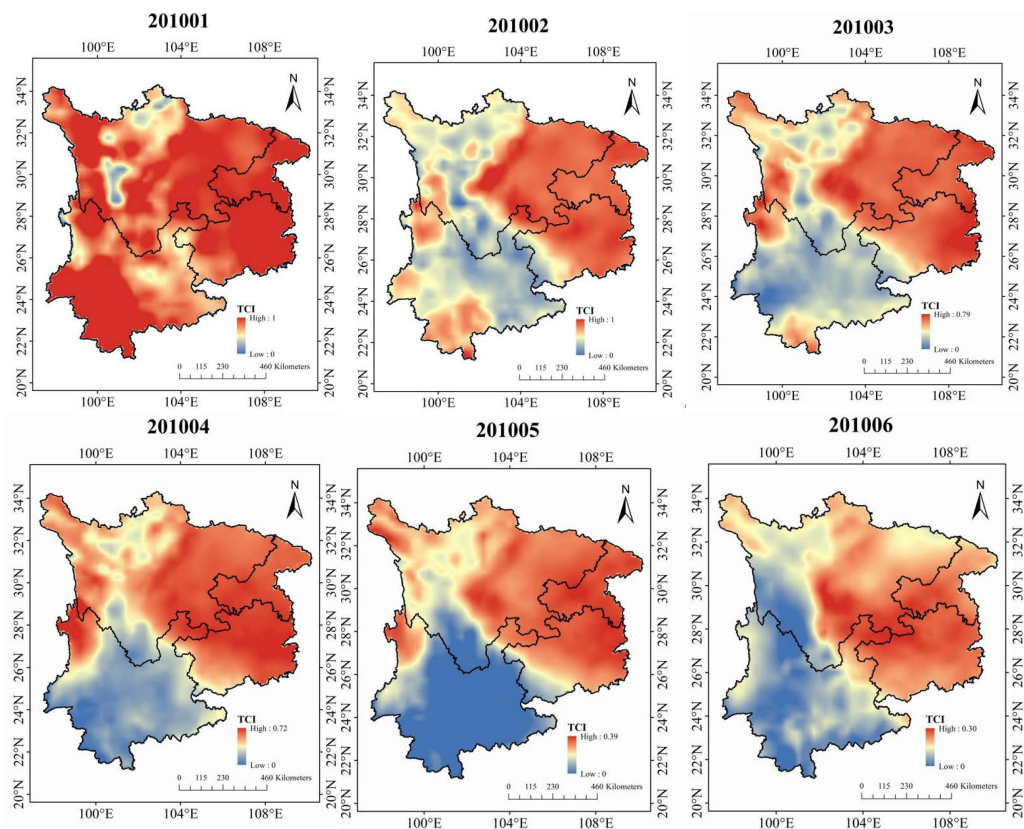
3.2.2. 标准化降水蒸散指数(SPEI)

SPEI 综合考虑降水量与潜在蒸散量, 能够反映水分亏缺与气候变暖的耦合效应。其计算方法见参考文献[16]。本文采用 3 个月时间尺度(SPEI-3)的 SPEI 值作为干旱基准进行评估验证。

4. 结果与分析

4.1. 基于 TCI 的西南地区典型案例干旱监测空间分布

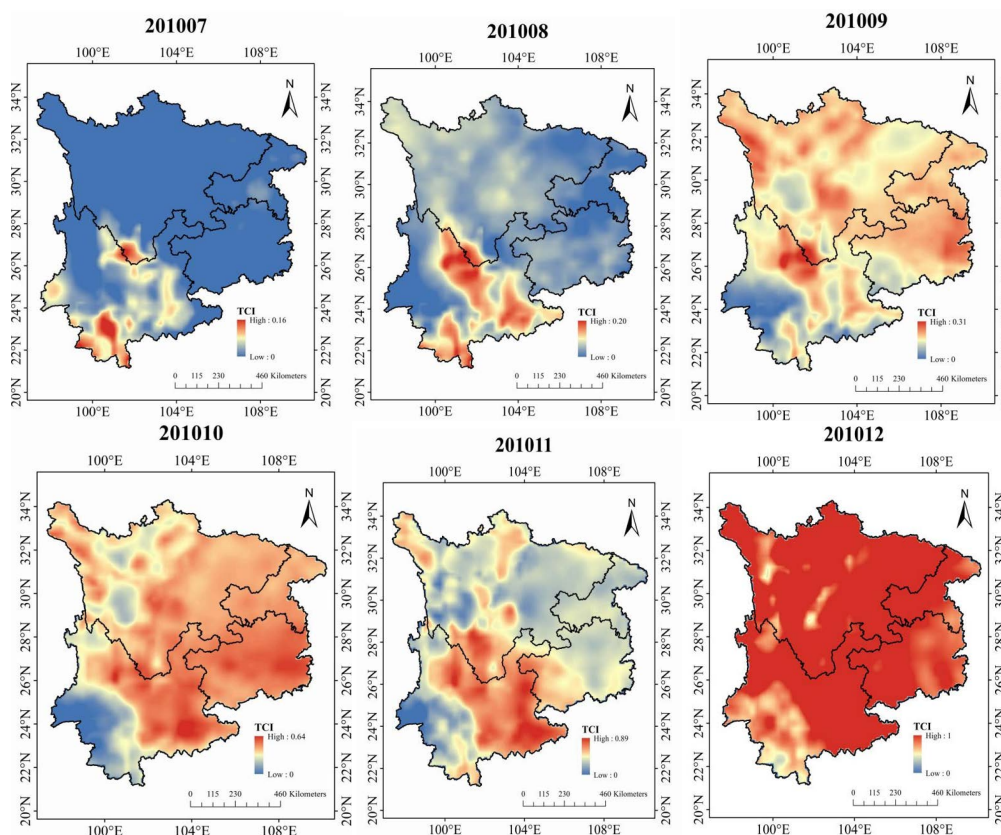
图 2 和图 3 分别为 2010 年 1~6 月和 7~12 月基于 TCI 的西南地区干旱空间分布。TCI 值越低(蓝色区域)表示地表高温胁迫越严重, 干旱程度越高; TCI 值越高(红色区域)表示地表温度条件适宜, 植被生长环境相对湿润。



注: 该图基于国家地理中心公共服务平台下载的审图号为 GS(2016)2923 的标准地图制作, 底图无修改。

Figure 2. Spatial distribution of TCI monitoring from January to June 2010
图 2. 2010 年 1~6 月 TCI 监测空间分布图

由图 2 可知, 2010 年 1 月全区整体偏湿润, TCI 以红色高值区为主。2 月, 四川盆地西部、云南中部及贵州局部出现连片蓝色低值区, 高温胁迫初显。3 月, 云南大部及四川盆地西部 TCI 持续下降, 干旱范围扩大, 贵州大部仍维持湿润。4 月, 云南南部全域被低值区覆盖, 四川盆地西部干旱范围进一步扩展, 贵州大部、川东及重庆以高值湿润为主。5 月, 干旱区向南部及西南部快速扩张, 云南大部与贵州西南部形成连片低值带, 四川东部及重庆仍以红色高值区为主。6 月, 低值区向北延伸, 云南大部及四川西部出现干旱, 仅四川盆地东北部、重庆东部及贵州大部维持湿润。



注: 该图基于国家地理中心公共服务平台下载的审图号为 GS(2016)2923 的标准地图制作, 底图无修改。

Figure 3. Spatial distribution of TCI monitoring from July to December 2010

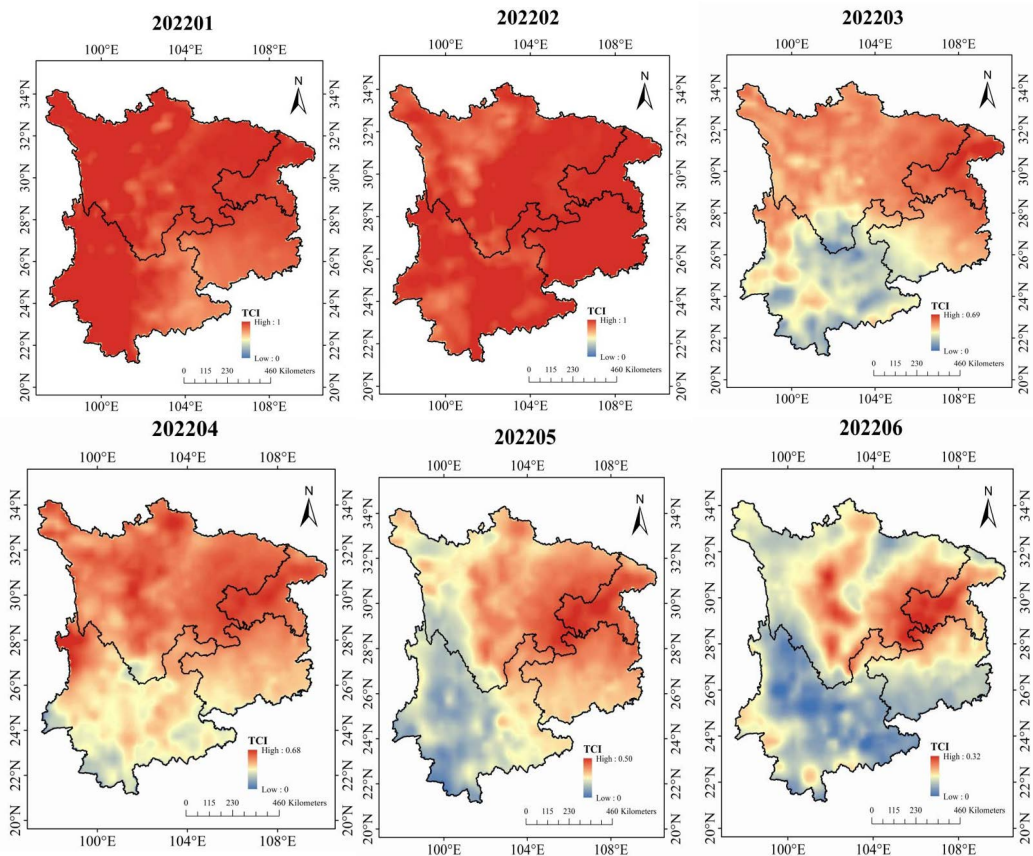
图 3. 2010 年 7~12 月 TCI 监测空间分布图

由图 3 可知, 7 月全区干旱达年内峰值, 除东北边缘外, 大部分区域被低值区主导。8 月, 干旱仍大面积维持, 仅云南局部出现零星高值区。9 月, 干旱区向西南收缩, 四川大部、重庆全域及贵州东部转为橙黄色, 云南西南部仍以低值区为主。10 月, 高值区自北向南推进, 四川大部、贵州东部转为橙红色, 仅云南西南部残留低值区。11 月, 湿润区在云贵川局部扩散, 但干旱范围再度扩大。12 月, 全区转为高值湿润主导, 干旱基本解除。

图 4、图 5 是基于 TCI 的 2022 年西南地区干旱监测空间分布图。

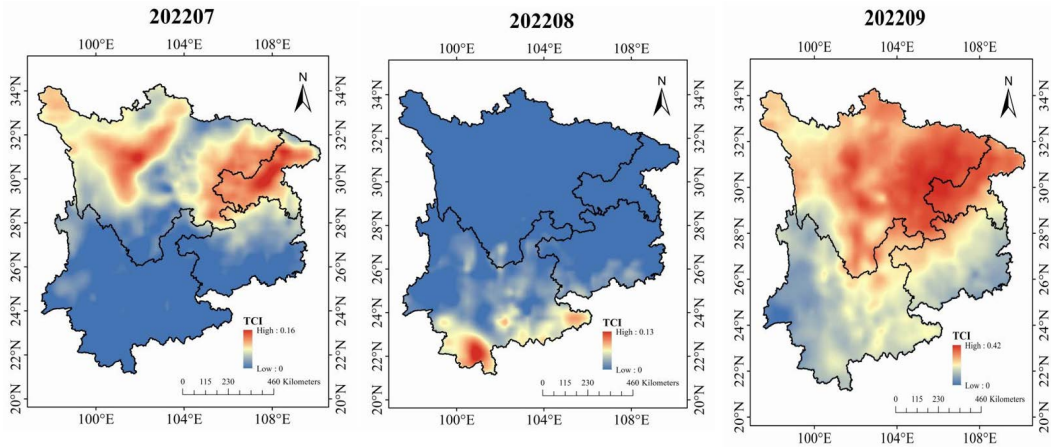
由图 4 可知, 2022 年 1~2 月全区整体偏湿润, TCI 以红色高值区为主。3 月, 干旱自南部始发, 云南大部与贵州西南部出现连片蓝色低值区。4 月, 低值区向贵州南部及云南中部蔓延, 四川、重庆大部仍维持高值湿润。5~6 月, 干旱持续向北扩张, 四川南部、贵州大部被低值区覆盖, 仅四川盆地东北部与重庆东部保持高值湿润。

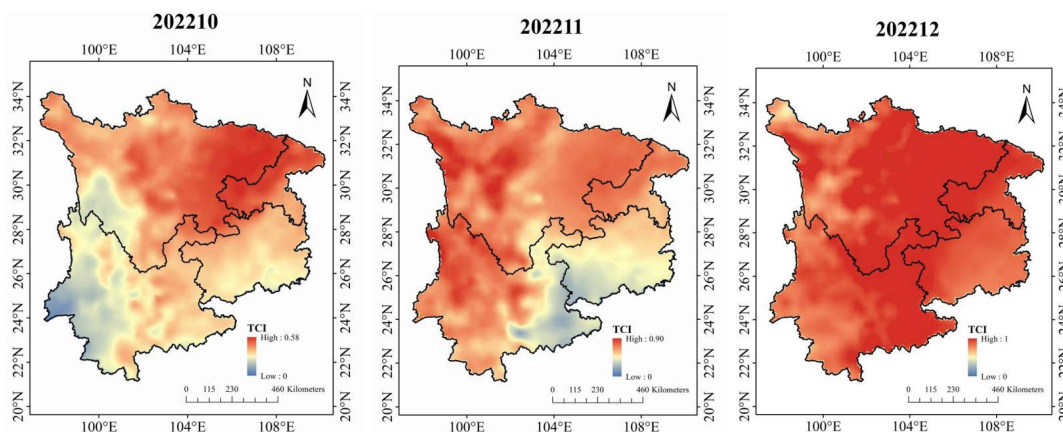
由图 5 可知, 7~8 月全区爆发大范围连片干旱, 蓝色低值区占据主体, 为全年旱情最重时段。9 月, 低值区向西南收缩, 四川大部、重庆全域及贵州东部转为橙黄色, 云南西南部仍以低值区为主。10 月, 高值区自北向南推进, 四川大部、贵州东部转为橙红色高值区, 仅云南西南部残留低值干旱。11 月, 低值区仅零星分布于西南边缘, 全区以黄橙色调为主, 湿润状态逐步恢复。12 月, 全区再度由红色高值区主导, 恢复湿润状态。



注: 该图基于国家地理中心公共服务平台下载的审图号为 GS(2016)2923 的标准地图制作, 底图无修改。

Figure 4. Spatial distribution of TCI monitoring from January to June 2022
图 4. 2022 年 1~6 月 TCI 监测空间分布图





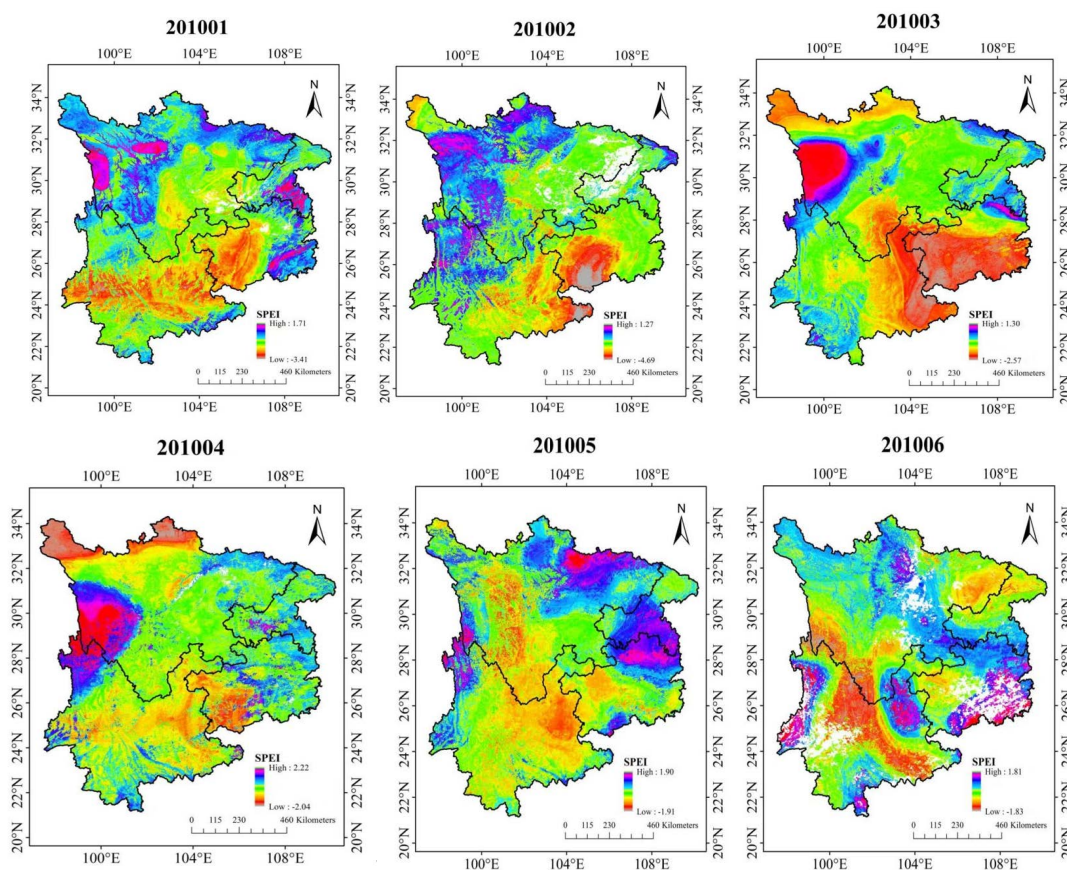
注：该图基于国家地理中心公共服务平台下载的审图号为 GS(2016)2923 的标准地图制作，底图无修改。

Figure 5. Spatial distribution of TCI monitoring from July to December 2022

图 5. 2022 年 7~12 月 TCI 监测空间分布图

4.2. 基于 SPEI 的西南地区典型案例干旱监测空间特征

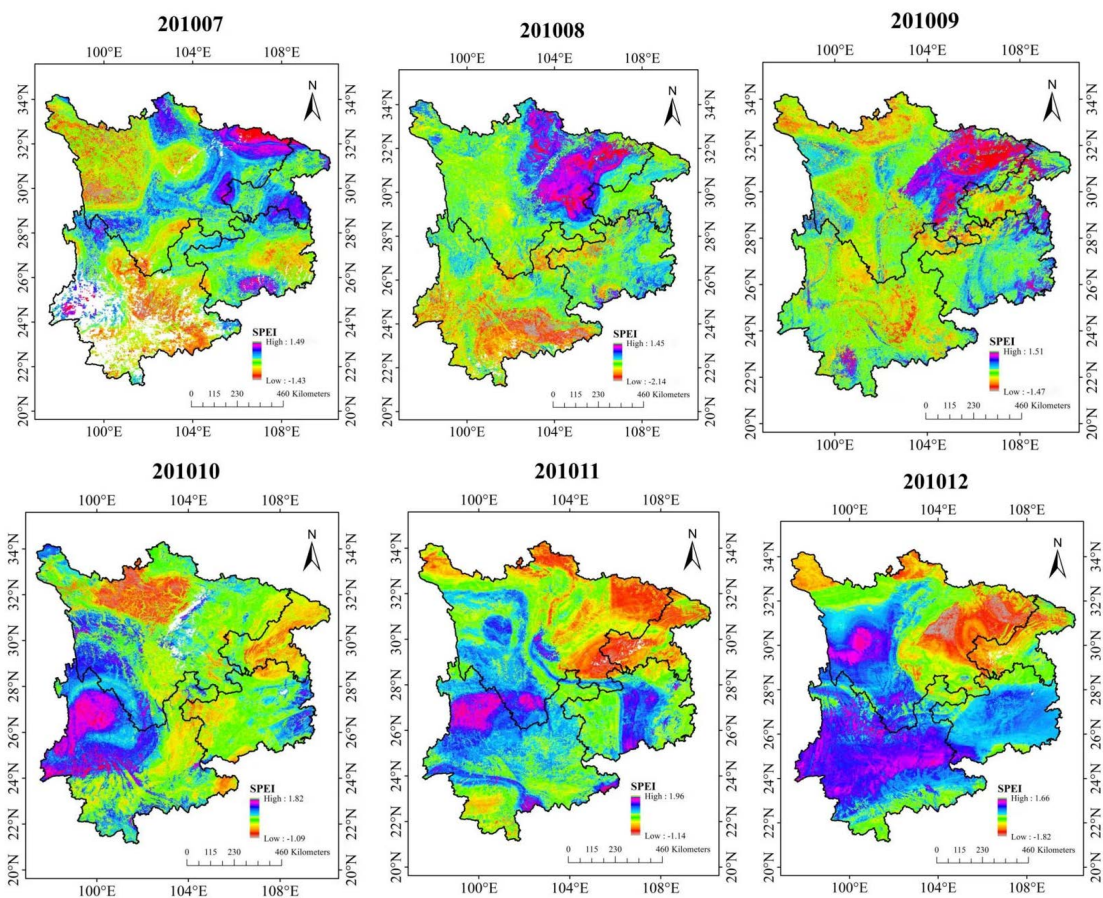
基于气象站点数据计算 SPEI，获取两次典型干旱事件的空间分布(图 6~9)。



注：该图基于国家地理中心公共服务平台下载的审图号为 GS(2016)2923 的标准地图制作，底图无修改。

Figure 6. Spatial distribution of SPEI monitoring from January to June 2010

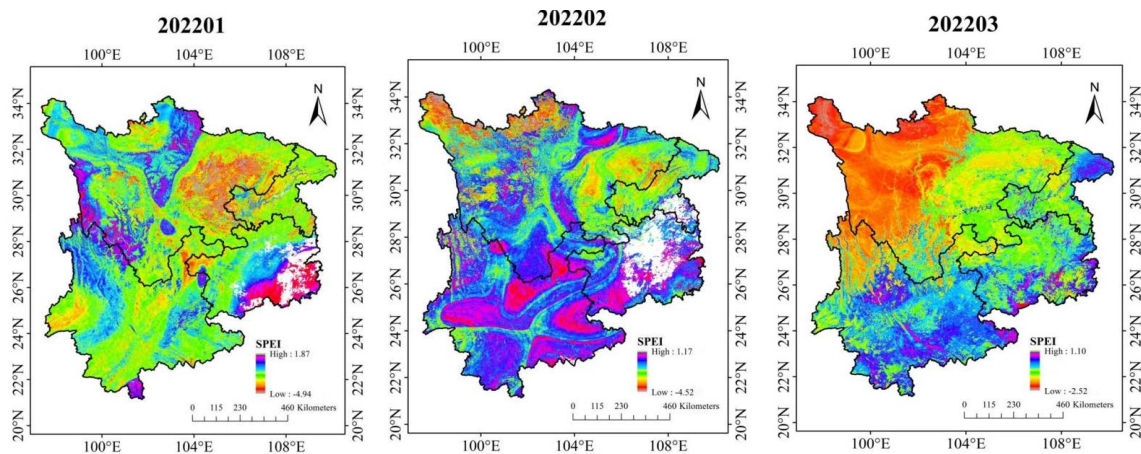
图 6. 2010 年 1~6 月 SPEI 监测空间分布图

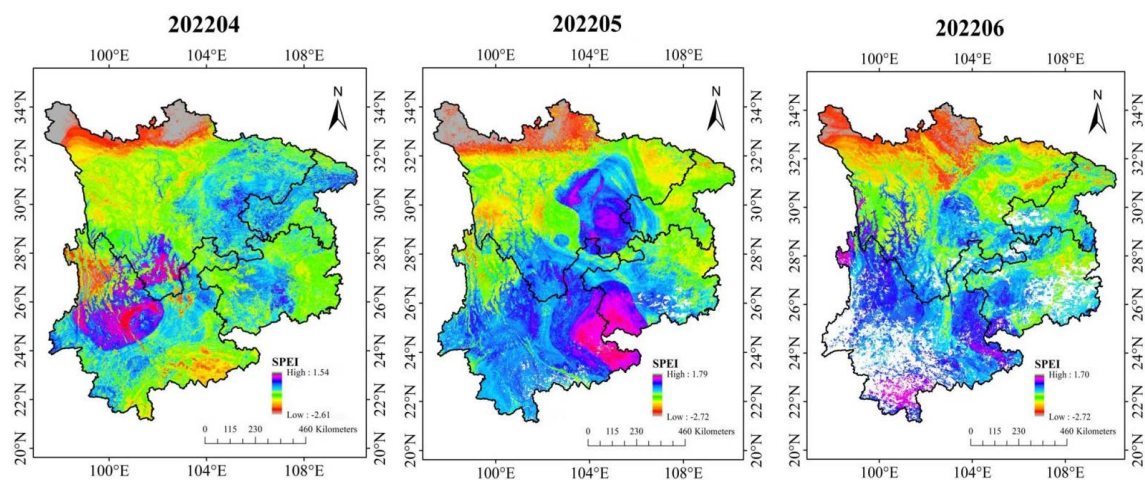


注：该图基于国家地理中心公共服务平台下载的审图号为 GS(2016)2923 的标准地图制作，底图无修改。

Figure 7. Spatial distribution of SPEI monitoring from July to December 2010
图 7. 2010 年 7~12 月 SPEI 监测空间分布图

2010 年 SPEI 监测结果显示，西南地区干旱演变具有明显的季节性干湿交替特征，冬春连旱构成全年干旱主体。1~4 月，旱区自南向北逐步推进，覆盖范围由局地扩展至全区，3~4 月进入重旱至特旱最为集中的时段；5~8 月，伴随夏季降水增加，旱情得到有效缓解，仅南部局部区域仍有零星干旱；9~12 月，干旱在局部地区出现阶段性波动，但强度远不及春季。

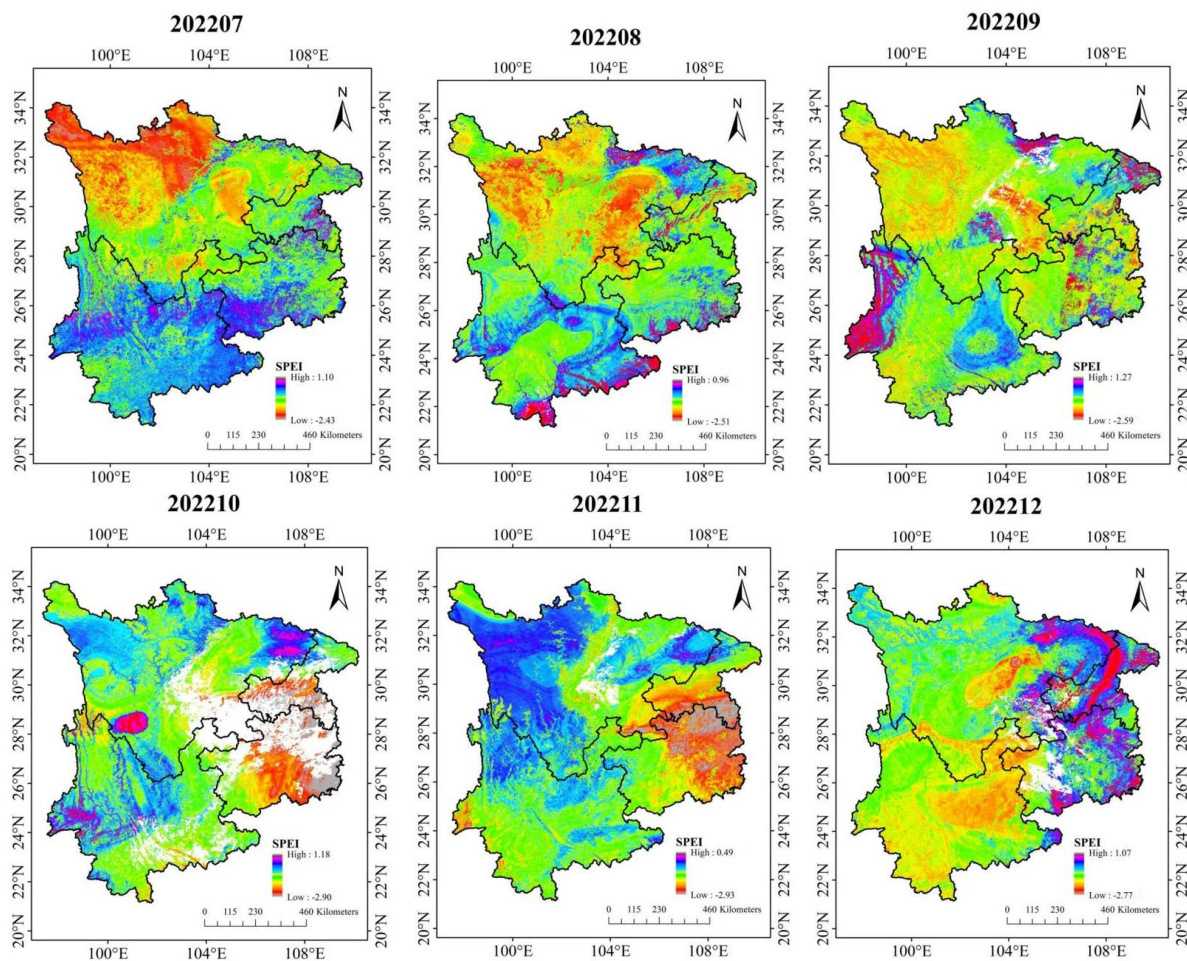




注：该图基于国家地理中心公共服务平台下载的审图号为 GS(2016)2923 的标准地图制作，底图无修改。

Figure 8. Spatial distribution of SPEI monitoring from January to June 2022

图 8. 2022 年 1~6 月 SPEI 监测空间分布图



注：该图基于国家地理中心公共服务平台下载的审图号为 GS(2016)2923 的标准地图制作，底图无修改。

Figure 9. Spatial distribution of SPEI monitoring from July to December 2022

图 9. 2022 年 7~12 月 SPEI 监测空间分布图

2022 年 SPEI 时空演变呈现出明显的季节分异规律。年初冬春干旱发端于北部局部区域, 其低值中心逐月向南推移, 干旱强度同步递增; 盛夏(7~8 月)为全年旱情最为严重的时期, 川渝与黔北地区出现大面积连片重旱, 仅研究区南缘仍维持湿润; 入秋后, 旱情由北向南逐步减弱, 湿润区范围随之扩大; 至年末, 全区干湿分布趋于平衡, 旱情基本消退。从空间格局来看, 川渝及黔东北构成全年干旱的核心地带, 滇西南则始终保持较高的湿润水平, 受旱风险较低。

4.3. TCI 与历史典型干旱事件的适用性分析

图 10 展示了 2010 年与 2022 年西南四省市全年平均气温与全年降水量。2010 年干旱为冬春持续性少雨驱动型干旱, 区域年均气温整体偏高, 当年云南、贵州季节降水显著偏少, 形成水分亏缺主导的冬春连旱[17]。对比年均气温可见, 仅四川 2022 年均温较 2010 年明显上升, 升温幅度为四省市首位; 2022 年全域年均降水量均低于 2010 年, 其中川渝降水缩减幅度更大。该年干旱属于夏秋极端高温叠加少雨的复合型干旱, 川渝高温、降水亏缺双重胁迫叠加效应最突出, 干旱程度相较于 2010 年更为严峻[18]。

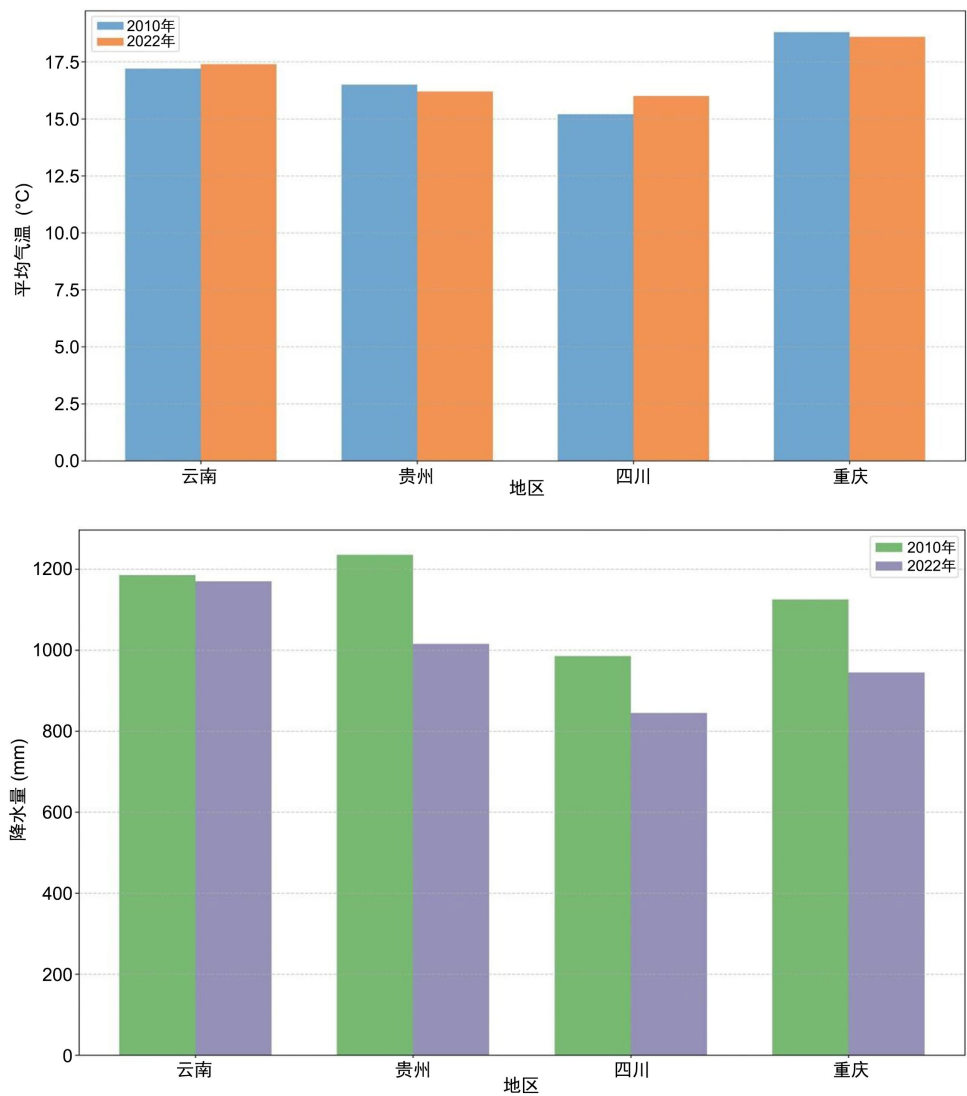


Figure 10. Annual average temperature and precipitation in different regions of Southwest China in 2010 and 2022
图 10. 西南地区 2010 和 2022 年不同区域年平均气温和降水量

4.3.1. 2010 年持续性降水亏缺型冬春连旱案例

2010 年, 西南地区遭遇特大干旱侵袭, 云南、贵州两省灾损尤为严重, 全区形成了罕见的冬春连旱态势。此次旱情在 3 月中旬至 4 月初进入最强阶段, 3 月下旬为受灾最为集中的时段。旱情高峰期, 西南五省耕地受旱总面积接近亿亩, 农作物大面积重旱乃至绝收, 数千万群众及牲畜面临饮水困难。贵州局地出现长达 235 天的连续无雨日, 四川攀西地区干旱持续超过 160 天, 云南多数区域数月内累计降水量不足 100 mm, 干旱强度达到百年一遇等级。4 月末至 5 月中旬, 多轮降雨陆续出现, 川渝地区旱情先行缓解, 贵州大部及云南随后改善; 5 月中旬起, 随着雨季全面建立, 全区旱情基本解除, 仅云南局部零星干旱持续至 5 月下旬。

结合灾情验证, TCI 在 2010 年干旱中响应滞后明显, 与气象干旱峰值匹配度低。TCI 通过地表温度反演干旱胁迫, 易受季节气温波动干扰, 对冬春干旱峰值捕捉能力不足, 峰值时段偏移, 仅能反映后期高温与水分亏缺叠加产生的热胁迫, 无法完整刻画干旱全过程, 单独监测适用性十分有限。

4.3.2. 2022 年极端高温叠加少雨型夏秋连旱案例

2022 年夏秋, 云贵川渝地区遭遇持续干旱过程。旱情于 6 月中旬自川渝地区起势; 7 月后, 受副热带高压持续控制, 云南、贵州降水骤减、高温天气频繁出现, 干旱范围迅速扩展至全域, 形成覆盖整个研究区的持续性气象干旱。此次旱情在 8 月下旬趋于最重, 8 月 22~24 日灾损达顶峰。在此期间, 川渝区域面临极端高温与严重气象干旱的双重夹击, 重庆、四川多地气温刷新同期最高纪录, 农作区大面积受旱, 部分中小河流干涸断流, 小型水库蓄水耗尽, 农业灌溉与城乡居民供水承受极大压力, 该时段亦为全国范围内干旱强度最强、波及最广的时期。8 月末至 9 月初, 多轮降雨过程陆续出现, 川渝旱情率先得到缓解; 9 月中下旬, 贵州结束抗旱应急响应, 云南旱情随之减轻; 至 9 月底, 区域持续性干旱过程基本结束, 仅个别地区零星轻度干旱持续至 10 月上旬消散。

TCI 对地表温度变化敏感, 能较好捕捉高温与干旱叠加产生的热胁迫效应, 时间上较精准匹配 2022 年 6 月旱情始发、8 月下旬峰值、9~10 月缓解的完整过程; 空间上与川渝率先受旱、后向滇黔蔓延的灾情分布一致, 表明 TCI 在高温胁迫型干旱中监测效果显著优于降水连续亏缺型。

4.4. TCI 与 SPEI 的相关性分析

以 SPEI-3 为基准, 采用皮尔逊与斯皮尔曼相关分析, 本文计算了 2010 年 1~4 月和 2022 年 7~10 月 TCI 与 SPEI 的相关系数及显著性。

4.4.1. 2010 年持续性降水亏缺型冬春连旱案例

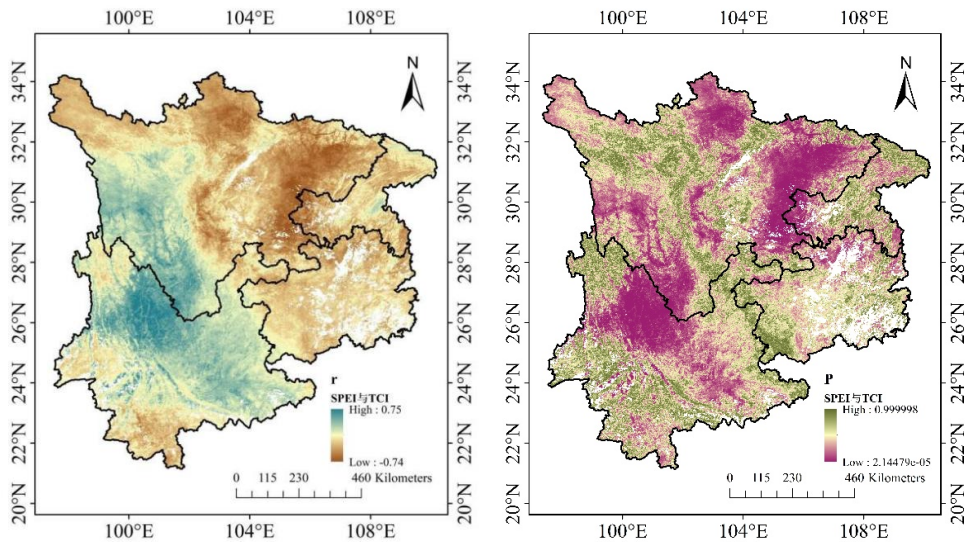
2010 年云贵川渝干旱过程主要集中在 1~4 月。旱情于 1 月自滇黔南一带初显, 随后缓慢扩展; 进入 2~3 月, 降水持续不足, 旱情快速蔓延至全区并攀升至顶峰, 重旱中心分布在川南、滇东北及黔西北一带; 4 月起降水增加, 全区旱情逐步缓解。图 11 为 2010 年 1~4 月 TCI 与 SPEI 的相关系数与显著性空间分布。

可以看出, 2010 年 1~4 月, TCI 与 SPEI 的相关系数空间范围为 $-0.74 \sim 0.75$ 。高正相关核心区集中于滇中南及川南南部(峰值 0.75), 表明该区域地表热力干旱与气象干旱耦合程度较高; 而研究区中东部、川渝北部以棕黄色负相关为主, 干湿变化响应趋势明显背离。显著性检验表明, 全区大部分区域处于低 P 值极显著区间, 统计可靠性较高。综上, 2010 年 TCI 的监测优势主要局限于滇川南部局地, 对该区域热力型干旱具有较好的指示能力, 但在中东部大部分地区适用性较差, 整体监测范围十分有限。

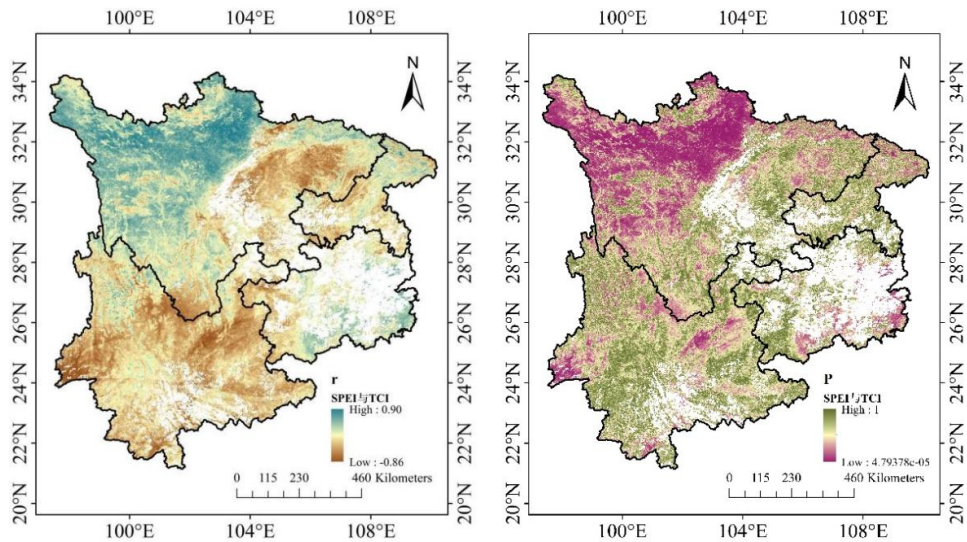
4.4.2. 2022 年极端高温叠加少雨型夏秋连旱案例

2022 年云贵川渝干旱过程主要发生在 7~10 月。7 月, 受持续高温与降水偏少共同影响, 干旱率先在

川渝地区出现：8 月至 9 月上旬，极端高温天气持续不退，全区旱情攀升至年内峰值，川渝、黔北及滇北受灾程度最深；9 月下旬起，随着降温降水过程增多，旱情逐步缓解并趋于结束。图 12 为 2022 年 7~10 月 TCI 与 SPEI 的相关系数与显著性空间分布。



注：该图基于国家地理中心公共服务平台下载的审图号为 GS(2016)2923 的标准地图制作，底图无修改。
Figure 11. Spatial distribution of correlation coefficients and significance between TCI and SPEI from January to April 2010
图 11. 2010 年 1~4 月 TCI 与 SPEI 的相关系数和显著性空间分布



注：该图基于国家地理中心公共服务平台下载的审图号为 GS(2016)2923 的标准地图制作，底图无修改。
Figure 12. Spatial distribution of correlation coefficients and significance between TCI and SPEI from July to October 2022
图 12. 2022 年 7~10 月 TCI 与 SPEI 的相关系数和显著性空间分布

可以看出，2022 年 7~10 月，TCI 与 SPEI 的相关系数空间范围为-0.86~0.90。高正相关核心区集中于川渝北部及川西高原(峰值 0.90)，表明该区域热力干旱与气象干旱演变高度耦合；滇中南、黔东南以大范围棕黄色负相关为主，干湿响应趋势明显背离。显著性检验表明，全区主体区域均处于低 P 值显著区

间,统计可靠性较高。综上,TCI在川渝北部干旱监测适配性最佳,能精准反映地表热异常与高温胁迫特征,与灾情空间分布高度一致;而区域南部、东南部适配性较差,监测偏差较大。

5. 结论

基于2010年降水持续亏缺型与2022年高温复合型两次典型干旱事件,结合灾情记录、SPEI验证及空间相关分析,评估了TCI在西南地区的干旱监测适用性,得到以下结论:(1)TCI对干旱类型的响应具有明显偏向性。降水亏缺主导的2010年冬春连旱中,TCI响应滞后显著,与SPEI及灾情记录的吻合度低,难以刻画干旱的完整时空过程;高温胁迫主导的2022年夏秋连旱中,TCI对地表热异常响应灵敏,能精准捕捉干旱的发生、发展与消退阶段,监测效果显著优于降水连续亏缺型干旱。(2)TCI的适用区域集中于热力敏感地带。在川渝盆地、川西高原及滇中等热力干旱突出区域,TCI表现良好,空间相关性高;而在研究区中东部、黔东南及滇中南等区域,适配性较差,负相关显著,监测偏差较大。

综上,TCI单独使用易受季节性气温波动、云雾覆盖及复杂地形干扰,存在响应滞后问题,难以全面适用于西南地区各类干旱场景。实际应用中需根据主导胁迫因子(水分亏缺或热力异常)灵活选用,或联合土壤水分、蒸散等多源数据构建综合监测模型。后续可通过开展TCI参数的本地化率定,融合SMAP、GRACE等多源遥感数据与机器学习算法,构建适配西南复杂地形的“气象-植被-土壤”一体化干旱监测体系,以有效增强区域干旱预警能力与防灾减灾支撑水平。

基金项目

四川省科技计划资助项目(2025NSFSC2045)。

参考文献

- [1] Huang, J., Li, X.H., Wang, L., Wang, X.J., Li, S.R. and Zhang, F. (2026) Construction and Performance Evaluation of a Compound High-Temperature and Drought Index for Summer in Southwest China. *Natural Hazards*, **122**, Article No. 475. <https://doi.org/10.1007/s11069-026-08252-0>
- [2] Li, X.H., Li, S.R., Wang, L., Wang, X.J. and Huang, J. (2026) Spatiotemporal Variability of Drought-Flood Abrupt Alternation Events in Southwest China during 1961 to 2024. *Theoretical and Applied Climatology*, **157**, Article No. 96. <https://doi.org/10.1007/s00704-026-06024-1>
- [3] 贾何佳, 李谢辉, 王磊, 等. 基于机器学习的西南地区遥感干旱监测与评估[J]. 高原气象, 2022, 41(6): 1572-1582.
- [4] Kogan, F.N. (2002) World Droughts in the New Millennium from AVHRR-Based Vegetation Health Indices. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, **83**, 557-563. <https://doi.org/10.1029/2002eo000382>
- [5] Jalayer, S., Sharifi, A., Abbasi-Moghadam, D., Tariq, A. and Qin, S. (2023) Assessment of Spatiotemporal Characteristic of Droughts Using *in Situ* and Remote Sensing-Based Drought Indices. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, **16**, 1483-1502. <https://doi.org/10.1109/jstars.2023.3237380>
- [6] Chander, G., Markham, B.L. and Helder, D.L. (2009) Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors. *Remote Sensing of Environment*, **113**, 893-903. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>
- [7] 刘闯, 葛成辉. 美国对地观测系统(EOS)中分辨率成像光谱仪(MODIS)遥感数据的特点与应用[J]. 遥感信息, 2000(3): 45-48.
- [8] 王宗敏, 杨海波, 计淇才, 等. 基于MODIS的河南省遥感干旱监测研究[J]. 水土保持通报, 2012, 32(1): 139-143, 211.
- [9] 孙灏, 高金华, 闫亭廷, 等. 植被干旱遥感监测方法研究进展[J]. 遥感学报, 2024, 28(6): 1395-1411.
- [10] 马梓策, 孙鹏, 张强, 等. 基于MODIS数据的华北地区遥感干旱监测研究[J]. 地理科学, 2022, 42(1): 152-162.
- [11] 罗彪, 刘潇, 郭萍. 基于MODIS数据的河套灌区遥感干旱监测[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(10): 44-54.
- [12] 吕潇然, 尹晓天, 宫阿都, 等. 基于植被状态指数的云南省农业干旱状况时空分析[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(12): 1634-1644.

-
- [13] Li, S.R., Li, X.H., Wang, L. and Wang, X.J. (2026) Spatiotemporal Evolution of Drought-Flood Abrupt Alternation Events and Their Relationship with Evapotranspiration in Southwest China: Based on CMIP6 Models and Future Projections. *Atmosphere*, **17**, Article 285. <https://doi.org/10.3390/atmos17030285>
- [14] Li, X.H., Wang, X.J. and Wang, L. (2026) Characteristics and Causal Drivers of the Summer 2024 Heatwaves in the Sichuan-Chongqing Region, Southwest China. *Theoretical and Applied Climatology*, **157**, Article No. 207. <https://doi.org/10.1007/s00704-026-06135-9>
- [15] 沙寅涛, 刘戈, 赵晓阳, 等. 2003-2022 年黄河流域 TCI、VCI、VHI、TVDI 逐年 1 km 分辨率数据集[J]. 中国科学数据(中英文网络版), 2024, 9(2): 166-180.
- [16] Li, X.H., Jia, H.J. and Wang, L. (2023) Remote Sensing Monitoring of Drought in Southwest China Using Random Forest and Extreme Gradient Boosting Methods. *Remote Sensing*, **15**, Article 4840. <https://doi.org/10.3390/rs15194840>
- [17] 段海霞, 王劲松, 刘芸芸, 等. 2009/2010 年我国西南秋冬春连旱特征及其大气环流异常分析[J]. 冰川冻土, 2013, 35(4): 1022-1035.
- [18] 孙昭萱, 张强, 孙蕊, 等. 2022 年西南地区极端高温干旱特征及其主要影响[J]. 干旱气象, 2022, 40(5): 764-770.