

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2022.11.010

1961—2018 年横断山区寒潮时空变化及其影响因素^①

任钇潼¹, 程清平^{1,2,3}, 金韩宇¹

1. 西南林业大学 地理与生态旅游学院, 昆明 650224; 2. 西南生态文明研究中心, 昆明 650224;
3. 中国科学院 西北生态环境与资源研究院玉龙雪山冰冻圈与可持续发展国家(云南省)科学野外观测研究站, 兰州 730000

摘要: 基于 1961—2019 年横断山区 66 个气象站点逐日气温数据, 采用 Sen 斜率与修订的 Mann-Kendall 检验, 以及 Pettitt 突变检验方法研究寒潮时空变化特征, 运用小波变换相干揭示寒潮与大尺度环流指数的相关性. 结果表明: ①时间上, 研究区寒潮显著减少(冬季最为显著), 于 1983 年显著突变, 但持续日上仍以 1~5 d 寒潮为主. ②空间上, 受纬度与海拔的影响, 横断山区寒潮频次分布特征为北多南少, 以德格、稻城、美姑、香格里拉及弥渡站寒潮频次显著减少, 其余站点未有明显变化. ③寒潮初日、终日趋于提早. 初日以弥渡、宁蒗、香格里拉站最为显著, 终日以昭觉、色达、香格里拉、稻城、喜德、弥渡、美姑站最为显著. ④东大西洋—西俄罗斯遥相关指数(EA/WR)、多变量 ENSO 指数(MEI)、太平洋—北美遥相关型指数(PNA)、青藏高原—1 指数(TPR1)、青藏高原—2 指数(TPR2)、西太平洋副热带高压强度指数(WPSHLI)与寒潮的相关性最强, 且厄尔尼诺下寒潮比重趋于增加.

关键词: 横断山区; 寒潮; 时空变化; 大尺度环流指数

中图分类号: K903

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2022)11-0072-08

Temporal and Spatial Variation of Cold Wave and its Influencing Factors in Hengduan Mountain Area from 1961 to 2018

REN Yitong¹, CHENG Qingping^{1,2,3}, JIN Hanyu¹

1. College of Geography and Ecotourism, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China;

2. Southwest Ecological Civilization Research Center, Kunming 650224, China;

3. Yulong Snow Mountain cryosphere and sustainable development national (Yunnan) scientific field observation and research station, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, CAS, Lanzhou 730000, China

Abstract: Based on the daily temperature data of 66 meteorological stations in Hengduan Mountain Area from 1961 to 2019, Sen slope combined with the modified Mann-Kendall and Pettitt mutation test was used to study the temporal and spatial variation characteristics of cold wave, and Wavelet Transform Coherence is used to reveal the correlation between cold wave and large scale circulation indexes. The results show that: ①in terms of time, the cold wave in the whole region tends to decrease significantly (the most significant in winter) and mutated significantly in 1983, and it is still dominated by 1—5 days

① 收稿日期: 2022-06-09

基金项目: 云南省应用基础研究计划青年项目(202201AU070064); 中国科学院 A 类战略性先导科技专项(XDA19040504); 西南林业大学高层次人才启动项目(112105).

作者简介: 任钇潼, 硕士研究生, 主要从事极端气候事件及其响应机制的研究.

通信作者: 程清平, 博士, 硕士研究生导师.

cold waves. ②Spatially, due to the influence of latitude and altitude, the frequency of cold waves in Hengduan mountain area is higher in the north and lower in the south. The frequency of cold waves in Dege, Daocheng, Meigu, Shangri La and Midu stations is significantly reduced, and there was no significant change in other stations. ③The first day and the last day of the cold waves tend to be earlier: Midu, Ninglang and Shangri La stations for the first day of cold waves are the most significant; and Zhaojue, Seda, Shangri La, Daocheng, Xide, Midu and Meigu stations for the last day of cold waves are the most significant. ④EA / WR, MEI, PNA, TPR1, TPR2 and WPSHLI have the strongest correlation with the cold wave, and the proportion of cold wave tends to increase under El Nino.

Key words: Hengduan mountain area; cold wave; temporal and spatial variation; large scale circulation index

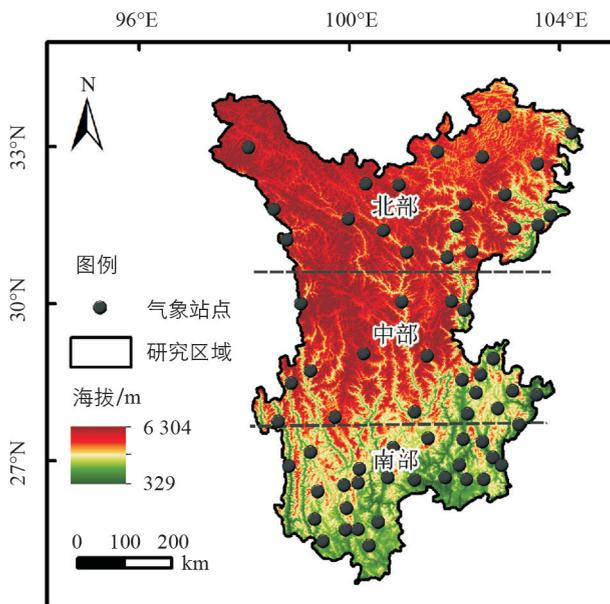
近几年全球气候加速变暖, 极端气候事件风险进一步加剧^[1]. 寒潮作为我国主要的天气过程之一, 伴随的急剧降温所触发的极端低温事件严重影响国民经济及人民生命财产安全^[2-3]. 长期以来, 国内学者对寒潮进行了大量研究工作, 李宪之^[4]、陶诗言^[5]、丁一汇^[6]等研究寒潮源地、发展机理与侵袭路径, 形成了比较系统和经典的寒潮理论^[7]; 王遵娅和丁一汇^[8]、魏凤英^[9]、朱晨玉等^[10], 从全国尺度对寒潮进行统计分析并分别指出大气环流异常(诸如西伯利亚高压减弱、北极涛动位相增强)对国内寒潮减少有显著影响. 当前, 长江中下游^[11]、青藏高原^[12]、四川盆地^[13]、河西走廊^[14]、云南^[15]等区域相关寒潮研究均进一步揭示了寒潮的空间异质性以及大气环流异常与寒潮的显著关联.

横断山区气候敏感, 容易受到青藏高原影响, 是东南亚极为重要的生态廊道——纵向岭谷区的重要组成部分^[16-17]. 在全球气候变暖的背景下, 研究横断山区历史寒潮事件的时空特征, 识别寒潮与大尺度环流指数的关联具有重要的现实意义, 可以为寒潮监测预警等气候业务提供参考^[10].

1 数据来源与方法

1.1 研究区域概况

横断山区(24.68°—34.33°N, 97.32°—104.45°E)位于青藏高原东南侧(图 1), 包括川滇西部和西藏自治区东部, 系南北走向山脉, 海拔 329~6 304 m, 平均海拔 3 000 m. 横跨亚热带和高原温带的地理条件导致区内的水热条件空间异质性大.



审图号: GS(2020)4619 号

图 1 横断山区区域概况及气象站点分布

1.2 数据来源

横断山区内 66 个气象站点 1961—2019 年的逐日最低气温数据来源于国家气象科学数据中心的国家地

面气候日值数据集(<http://data.cma.cn/>);为研究寒潮对大尺度环流异常的响应所选取的北极涛动指数(AO)、大西洋数十年震荡指数(AMO)、太平洋年代际振荡指数(PDO)、多变量 ENSO 指数(MEI)、东大西洋—西俄罗斯遥相关指数(EA/WR)、太平洋—北美遥相关型指数(PNA)、青藏高原-1 指数(TPR1)、青藏高原-2 指数(TPR2)、西太平洋副热带高压面积指数(WPSHI)、西太平洋副热带高压强度指数(WP-SHII)、西太平洋副热带高压脊线指数(WPSHLI)及西太平洋副热带高压西伸脊点指数(WPSHPI)来自中国气象局国家气候中心发布的大尺度环流指数集(<http://ncc-cma.net/cn/>),指数定义详见 <http://ncc-cma.net/Website/index.php?ChannelID=43&WCHID=5>.

1.3 研究方法

1.3.1 寒潮标准

依据《寒潮等级》(GB/T21987-2017)确定横断山区寒潮标准:将某地日最低气温 24 h 内降温幅度大于或等于 8 °C,或 48 h 内降温幅度大于或等于 10 °C,或 72 h 内降温幅度大于或等于 12 °C,并且使该地日最低气温大于或等于 4 °C 的冷空气活动定义为寒潮^[18].

以研究区 1961—2019 年逐日最低气温为基础,分析寒潮频次及初终日的时空变化特征.由于寒潮主要发生在春季、秋季及冬季,本研究将该年 9 月 1 日到次年 5 月 31 日定义为一个寒潮年.寒潮初日定义为一个寒潮年内初次寒潮的日期;寒潮终日定义为一个寒潮年内末次寒潮的日期.采用儒略日换算方法确定寒潮的初日(寒潮年内首次出现寒潮的日期)、终日(寒潮年内最后出现寒潮的日期)及持续日数,如:以 1 月 1 日为起点记为 1,2 月 1 日记为 32,即将寒潮出现的初日、终日日期转换为距离 1 月 1 日的实际日数,得到寒潮初日、终日的时序列.

1.3.2 趋势特征识别

采用 Sen 斜率^[19]结合修订的 Mann-Kendall^[20]以及 Pettitt 突变检验^[21]辨识寒潮时空变化特征.

1.3.3 大尺度环流因子检测

采用小波相干分析(Wavelet Transform Coherence, WTC)^[22]探测寒潮与大尺度环流指数的共振周期,剖析寒潮与大气环流异常的联系.厄尔尼诺/拉尼娜—南方涛动(El Niño/La Niña-Southern Oscillation, ENSO)是造成全球气候年际变化的最重要的海气耦合现象,对中国气候影响显著,因此单独剖析 ENSO 下寒潮变化特征对于揭示极端事件的驱动因素具有重要意义^[23]. ENSO 事件的判定采用 NOAA 地球系统实验室发布的多变量 ENSO 指数(MEI)双月等级排序数据集进行:若 MEI 等级排序为 1~21,视为一次拉尼娜现象;若 MEI 等级排序为 48~68,视为一次厄尔尼诺现象.

2 结果与分析

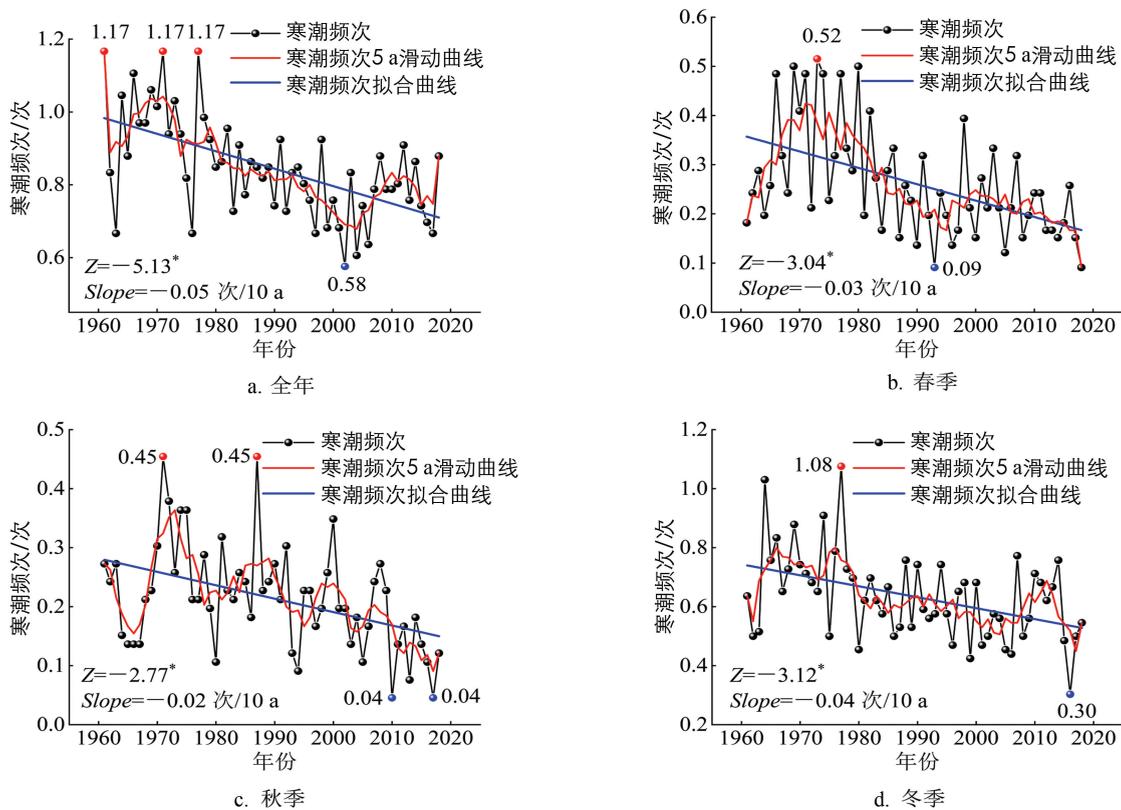
2.1 寒潮时间特征分析

由图 2 可知,横断山区全年寒潮呈显著减少态势(每 10 年减少 0.05 次),其中又以冬季最为显著(每 10 年减少 0.04 次),春季次之(每 10 年减少 0.03 次),秋季最低(每 10 年减少 0.02 次),即冬季寒潮的显著减少主导了区内寒潮变化趋势. Pettitt 突变检验发现,横断山区于 1983 年发生显著突变,1983 年以前寒潮年均频次为 0.95 次/a,1983 年以后寒潮年均频次 0.78 次/a.

2.2 寒潮空间变化特征

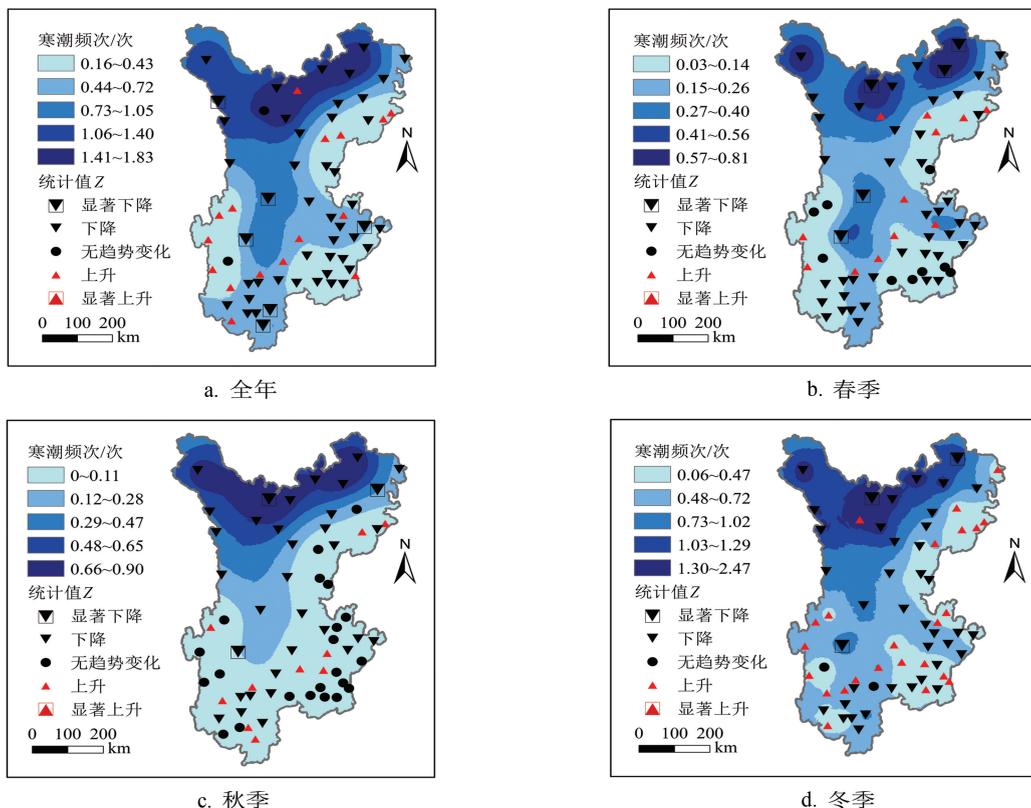
空间上横断山区全年单站寒潮(图 3a)表现为北多南少,以石渠、红原、色达及若尔盖站最多(≥ 3 次/a). 81.82% 的站点寒潮趋于减少,以德格、稻城、美姑、香格里拉以及弥渡站最为显著,且沿金沙江峡谷以及云岭呈“V”形分布;少数站点寒潮趋于缓慢增加,多分布在横断山南部.

春季(图 3b),石渠、红原、色达以及若尔盖站寒潮多发(≥ 1 次/a). 68.19% 的站点寒潮趋于减少,以若尔盖、红原、色达、稻城以及香格里拉站最为显著,多分布在横断山北部和中部;18.19% 的站点寒潮趋于缓慢增加,其余站点寒潮无明显变化趋势. 秋季(图 3c),51.52% 的站点寒潮呈减少态势,以色达、松潘以及香格里拉站最为显著;33.33% 的站点寒潮频次无明显趋势,多分布于横断山区东西两侧;15.16% 的站点寒潮缓慢增加,多分布在横断山南部. 冬季(图 3d),60.61% 的站点寒潮趋于减少,以若尔盖、色达、香格里拉站最为显著,此外有 36.37% 的站点寒潮频次趋于增长,多分布在“若尔盖—兰坪站”以东.



注：“*”表修订的 Mann-Kendall 趋势检验统计值绝对值 $|Z| \geq 1.96$

图 2 1961—2018 年横断山区寒潮时间变化特征



中国分类号: GS(2020)4619 号

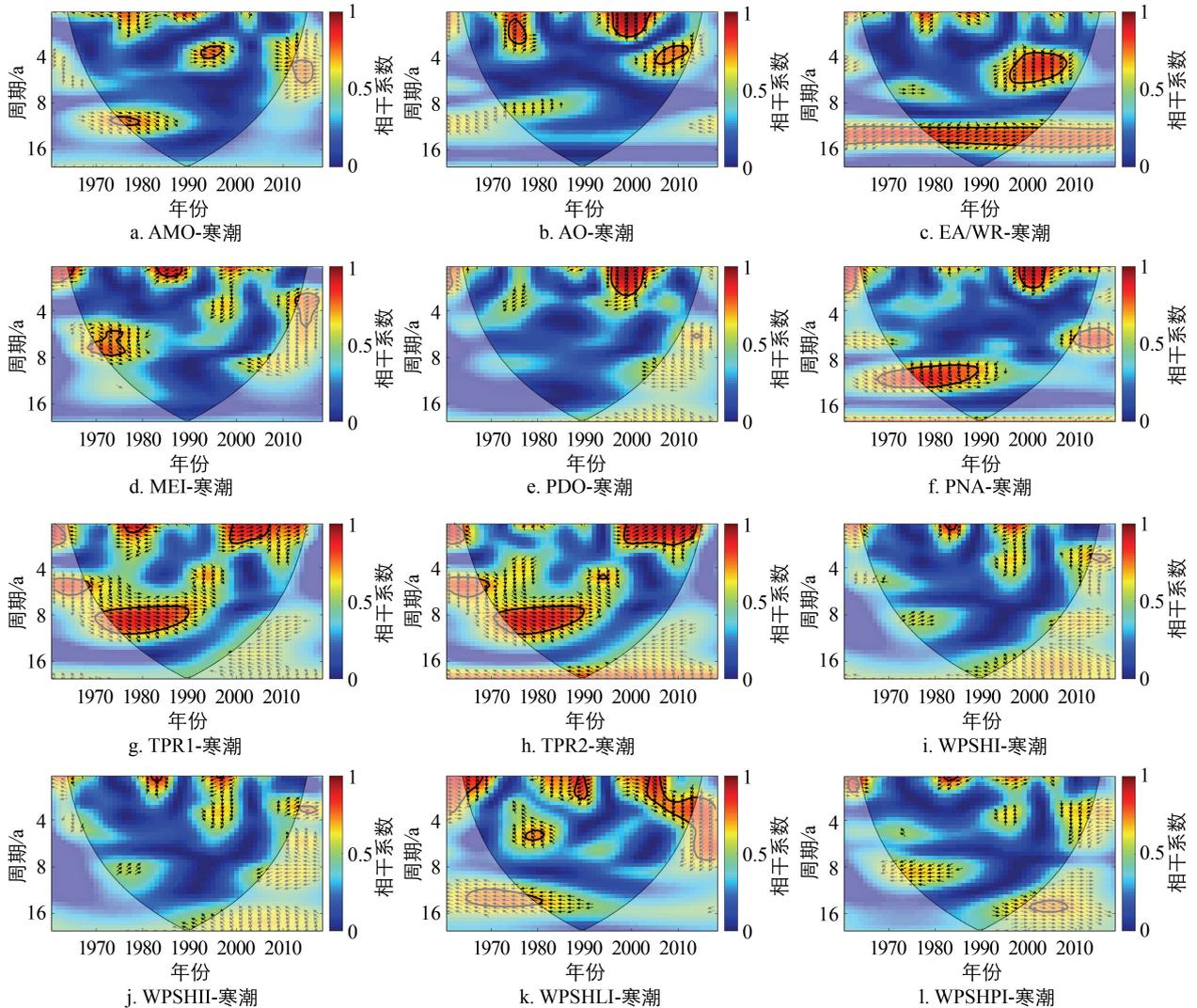
图 3 1961—2018 年横断山区寒潮时空变化特征

2.3 寒潮对大尺度环流异常的响应特征

2.3.1 WTC 分析

图 4 可知, 1961—2018 年, EA/WR 与寒潮在 11.69~15.34 a 的周期上呈稳定的显著负相关, 1996—2008 年, 在 3.68~5.84 a 的周期上寒潮显著提前于 EA/WR; MEI 于 1970—1877 年、1984—1988 年分别在 5.21~7.80 a、2.19~2.46 a 的周期上与寒潮呈显著正相关. PNA, TPR1 以及 TPR2 在 1974—1989 年分别在 9.28~12.38 a、6.95~10.41 a 以及 6.59~11.03 a 的周期上与寒潮呈显著负相关; WPSHLI 在 1965—1980 年在 2.19~2.92 a 的周期上与寒潮呈显著负相关, 1980 年以后表现为在更低周期上的显著负相关.

AMO, AO, PDO, WPSHI, WPSHII, WPSHPI 与区内寒潮仅出现短暂的一致性, 其中 AO, PDO 在 1996—2004 年分别在 2.32~3.28 a、2.07~2.15 a 的周期上显著提前, 滞后于寒潮.



注: 黑色粗轮廓表示通过 $\alpha=5\%$ 红噪声检验; 从左向右箭头表示寒潮事件与大尺度环流指数正相关, 从右向左箭头表示寒潮事件与大尺度环流指数负相关, 垂直向下箭头表示寒潮比大尺度环流指数提前 90° , 垂直向上的箭头表示大尺度环流指数比寒潮事件提前 90°

图 4 1961—2018 年横断山区寒潮与大尺度环流指数的 WTC 相关系数

2.3.2 厄尔尼诺下寒潮事件变化特征

如表 1 所示, 总体上, 厄尔尼诺和拉尼娜下均以冬季寒潮日所占比重最大 (25.88%~39.42%). 1961—1980 年, 拉尼娜较厄尔尼诺更为频繁, 拉尼娜下寒潮日比重最高 (54.5%~66.04%); 1980 年以后, 厄尔尼诺较拉尼娜更为频繁, 且以厄尔尼诺下寒潮日比重最高 (52.56%~53.06%). 此外, 厄尔尼诺下,

春、秋、冬三季的寒潮日比重均趋于上升, 拉尼娜下春、秋、冬三季的寒潮日比重均趋于减小, 且趋势变化程度均以冬季最高.

表 1 厄尔尼诺和拉尼娜下季节寒潮累积日数年代际变化

类型	季节	1961—1970		1971—1980		1981—1990		1991—2000		2001—2010		2011—2017	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
厄尔尼诺	秋	2	3.51	6	5.57	9	6.90	14	7.34	19	7.80	21	7.84
	冬	3	26.32	8	32.76	12	36.72	16	36.71	20	36.68	21	35.47
	春	2	4.13	6	7.18	10	8.94	15	8.74	18	8.58	23	9.60
拉尼娜	秋	5	9.70	9	10.84	10	9.02	14	9.20	17	8.72	19	8.45
	冬	5	39.42	8	28.91	9	25.88	14	27.66	17	28.31	19	29.16
	春	6	16.92	10	14.75	12	12.54	13	10.34	16	9.90	17	9.47

注: a 表示厄尔尼诺/拉尼娜次数; b 表示厄尔尼诺/拉尼娜下某一季节寒潮日数占总寒潮日的比重(%).

2.4 寒潮持续日数与初终日统计

2.4.1 寒潮持续日数统计特征

图 5a 表明单站寒潮累积日数由北向南呈“阶梯式”减少, 以 32°N 最为明显. 32°N 以北, 1961—1980 年单站寒潮日相对偏多, 1980—2018 年偏少但波动强烈; 32°N 以南, 情况相反, 即 1961—1980 年寒潮日偏多, 1980—2018 年偏少, 以 28°N 地区最为明显. 图 5b 表明, 横断山区单次单站寒潮事件可持续 1~15 d, 但以短持续日寒潮(1~5 d)为主. 短持续日寒潮、中持续日寒潮(6~10 d)在 1961—2000 年趋于减少, 2000 年后趋于增加. 长持续日寒潮(11~15 d)属极小概率事件, 在 1960—2018 年未出现明显增减.

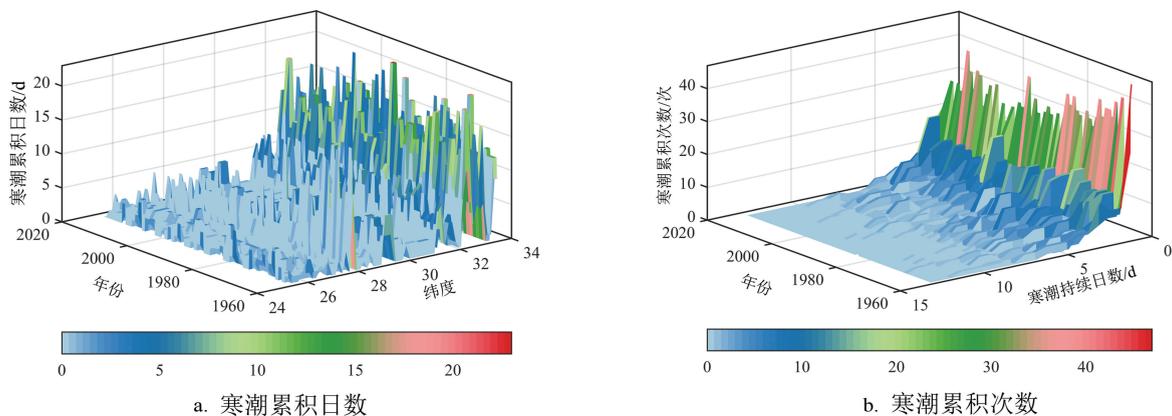


图 5 1961—2018 年横断山区寒潮结构特征

2.4.2 寒潮初终日统计特征

如图 6a 所示, 横断山区寒潮初日(10 月 4 日至次年 5 月 7 日)表现为西北提早南部滞后(1 月 5 日至 4 月 6 日). 全区 56.06% 的站点寒潮初日整体趋于提早(每 10 年提早 2 d), 仅弥渡站(每 10 年提早 3.33 d)通过 0.05 显著性检验; 43.94% 的站点寒潮初日滞后, 其中以香格里拉(每 10 年滞后 4.62 d)、宁蒗站(每 10 年滞后 7.96 d)最为显著. 如图 6b 所示, 全区寒潮终日区域差异性较小, 即各站寒潮终日较于初日均较为同步(1 月 10 日—3 月 16 日). 66.67% 的站点寒潮终日趋于提早, 其中以昭觉(每 10 年提早 3.70 d)、色达(每 10 年提早 5.48 d)、香格里拉(每 10 年提早 13.8 d)、稻城(每 10 年提早 7.8 d)、喜德(每 10 年提早 0.32 d)、弥渡(每 10 年提早 3.75 d)、美姑站(每 10 年提早 2.61 d)最为显著. 其余站点寒潮终日推迟, 但均未通过 0.05 显著性检验.

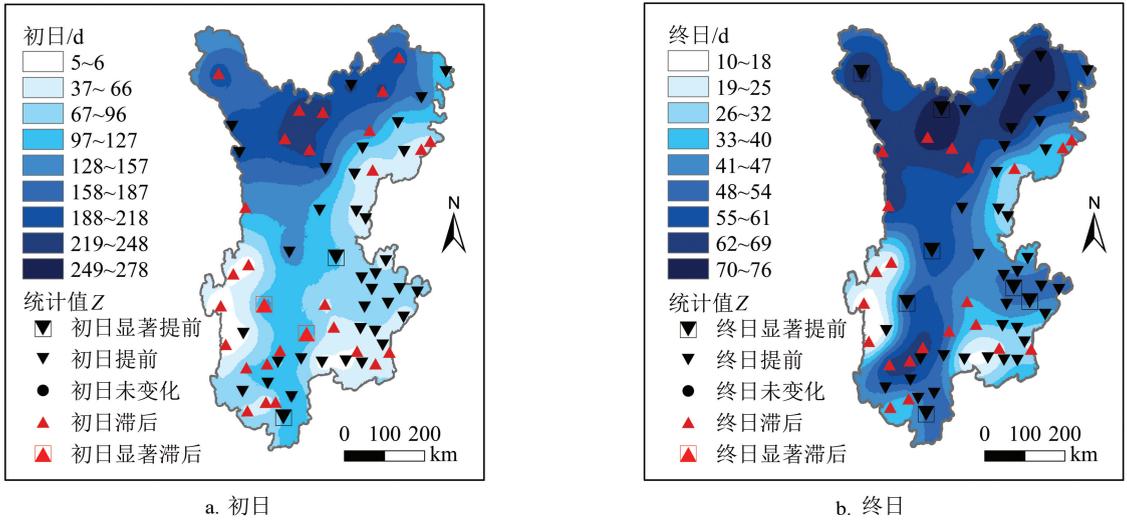


图 6 1961—2018 年横断山区寒潮初日及终日时空变化特征

3 讨论与结论

3.1 讨论

本研究发现横断山区寒潮多发于冬季,与王遵娅等^[8]所描述的南方寒潮多发于春季的情况不符,这可能与对寒潮的判定标准不同以及国内气温趋于升高^[24]导致春季寒潮减少有关。研究区内寒潮于 1983 年发生显著突变,与朱晨玉等^[10]研究得出的国内寒潮突变时间点接近;研究区寒潮趋于减少,与长江中下游^[11]、青藏高原^[12]、云南^[15]地区寒潮变化趋势一致,与四川盆地^[13]趋势相反。研究区内寒潮对 EA/WR 的响应最强,对 AO 的响应较弱,这与王遵娅等^[8]的 AO 对寒潮具有显著影响的结论不一致。

全球气候变暖,极端低温事件发生的频率和强度与空间范围变化显著^[25-26],因此需加强相关领域的监测分析。尽管横断山区寒潮趋于减少,但寒潮初日、终日趋于提早或对春播作物产生严重影响,因此需加强春季寒潮的监控预防。此外,横断山区是重要生态屏障,是生物的重要庇护所^[16],需进一步从频率、强度等方面对寒潮作更深入的研究。

3.2 结论

1) 1961—2018 年研究区寒潮趋于显著减少(每 10 年减少 0.05 次),但持续日上仍以 1~5 d 寒潮为主;受纬度和海拔的影响,研究区内寒潮北多南少,以 32°N 为重要分界线。

2) 弥渡、宁蒍、香格里拉站的寒潮初日,昭觉、色达、香格里拉、稻城、喜德、弥渡以及美姑站的寒潮终日均已发生显著变化。

3) EA/WR, MEI, PNA, TPR1, TPR2, WPSHLI 与寒潮的相关性最为显著;厄尔尼诺下寒潮比重趋于增加。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis // Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R]. Cambridge and New York: Cambridge University Press(in Press), 2021.
- [2] 陈海山, 刘蕾, 朱月佳. 中国冬季极端低温事件与天气尺度瞬变波的可能联系 [J]. 中国科学: 地球科学, 2012, 42(12): 1951-1965.
- [3] 唐孟琪, 曾刚. 近 30 多年中国东北地区春季寒潮的年代际变化及其可能原因 [J]. 气候与环境研究, 2017, 22(4): 473-486.
- [4] 李宪之. 中国近代科学论著丛刊——气象学(1919—1949) [M]. 北京: 科学出版社, 1955.

- [5] 陶诗言. 阻塞形势破坏时期的东亚一次寒潮过程 [J]. 气象学报, 1957, 15(1): 63-74.
- [6] DING Y H. Build-Up, Air Mass Transformation and Propagation of Siberian High and Its Relations to Cold Surge in East Asia [J]. Meteorology and Atmospheric Physics, 1990, 44(1-4): 281-292.
- [7] 丁一汇. 高等天气学 [M]. 2 版. 北京: 气象出版社, 2005.
- [8] 王遵娅, 丁一汇. 近 53 年中国寒潮的变化特征及其可能原因 [J]. 大气科学, 2006, 30(6): 1068-1076.
- [9] 魏凤英. 气候变暖背景下我国寒潮灾害的变化特征 [J]. 自然科学进展, 2008, 18(3): 289-295.
- [10] 朱晨玉, 黄菲, 石运昊, 等. 中国近 50 年寒潮冷空气的时空特征及其与北极海冰的关系 [J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2014, 44(12): 12-20.
- [11] 王珂依, 刘园, 刘布春, 等. 1958—2015 年长江中下游寒潮时空演变特征 [J]. 自然资源学报, 2020, 35(12): 3029-3038.
- [12] 时盛博, 张调风, 马占良, 等. 青藏高原东北部寒潮次数时空变化特征研究 [J]. 冰川冻土, 2020, 42(4): 1169-1178.
- [13] 肖红茹, 龙柯吉, 伍清, 等. 1980—2017 年四川盆地寒潮及其气温变化特征 [J]. 高原山地气象研究, 2020, 40(4): 47-52.
- [14] 刘美娇, 李颖, 孙美平. 1961—2018 年河西走廊寒潮频次时空变化特征及其环流影响因素研究 [J]. 冰川冻土, 2020, 42(3): 801-811.
- [15] 陶云, 陈艳, 任菊章, 等. 1961—2014 年云南冬季寒潮活动规律及其与大气环流异常的关系 [J]. 云南大学学报(自然科学版), 2021, 43(1): 68-77.
- [16] 吴绍洪, 潘韬, 曹杰, 等. 西南纵向岭谷地形对季风的“通道—阻隔”作用 [J]. 地理研究, 2012, 31(1): 1-13.
- [17] LI Z X, HE Y Q, WANG C F, et al. Spatial and Temporal Trends of Temperature and Precipitation during 1960-2008 at the Hengduan Mountains, China [J]. Quaternary International, 2011, 236(1-2): 127-142.
- [18] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 寒潮等级: GB/T 21987—2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [19] HENRI T. Henri Theil's Contributions to Economics and Econometrics [M]: Berlin: Springer Science + Business Media, 1992.
- [20] HAMED K H, RAO A R. A Modified Mann-Kendall Trend Test for Autocorrelated Data [J]. Journal of Hydrology, 1998, 204(1-4): 182-196.
- [21] 张应华, 宋献方. 水文气象序列趋势分析与变异诊断的方法及其对比 [J]. 干旱区地理, 2015, 38(4): 652-665.
- [22] ASLAK G, JOHN M, SVETLANA J. Application of Cross Wavelet Transform and Wavelet Coherence to Geophysical Time Series [J]. Nonlinear Processes in Geophysics, 2004, 11: 561-566.
- [23] 何溪澄, 丁一汇, 何金海. 东亚冬季风对 ENSO 事件的响应特征 [J]. 大气科学, 2008, 32(2): 335-344.

责任编辑 胡杨 崔玉洁