

高山,张高健,杨睿,等. 气候变暖趋势下关中地区寒潮特征及影响因子分析[J]. 陕西气象,2025(4):33-38.

文章编号:1006-4354(2025)04-0033-06

气候变暖趋势下关中地区寒潮特征及影响因子分析

高山,张高健,杨睿,樊超

(西安市气象局,西安 710016)

摘要:基于 1971—2022 年陕西关中地区 41 个气象观测站逐日平均气温、最低气温和降水资料,采用线性趋势法和 Mann-Kendall 检验分析了该区域寒潮活动特征以及单站寒潮频次与东亚槽位置指数(PEAT)和冷空气指数(CA)等因子的相关关系。结果表明:(1)1971—2022 年关中地区单站寒潮累计发生频次呈北多南少的纬向分布特征,北部多数站点寒潮频次趋于增加,南部趋于减少;(2)整个区域年际间寒潮累计发生频次呈不显著增加趋势,而冬季则显著增加;(3)1971—2022 年关中地区区域性寒潮频次呈减少趋势。区域性寒潮过程持续时间为 2~4 d,持续时间为 2 d 的占总次数的 83.3%。区域性寒潮过程以干过程为主,干和较干过程占到过程总数的 80.7%。(4)气候变暖是导致关中地区冬季单站寒潮频次增加的原因之一。关中地区寒潮累计发生频次与 PEAT 显著负相关,与 CA 显著正相关,地理位置和地形特征是造成关中地区寒潮空间分布特征的主要原因。

关键词:关中地区;寒潮;时空变化;气候特征;影响因子

中图分类号:P425.54

文献标识码:A

寒潮过程常伴有霜冻、大风、沙尘等恶劣天气,是我国发生的气象灾害之一,对工农业生产、交通运输和人体健康等带来不利影响,因而受到国内外学者的广泛关注。IPCC 第六次评估报告指出,21 世纪前 20 年全球表面温度比 1850—1900 年高 0.99 °C,2011—2020 年平均比 1850—1900 年高 1.09 °C^[1]。气候变暖不仅造成了更频繁和更强烈的极端天气事件,也给全球大多数地区的自然和人类带来日益严峻的挑战。对气候变暖趋势下寒潮活动变化特征及影响因素的研究,有助于进一步掌握寒潮灾害的发生发展规律,对保障人民生产生活和防灾减灾有着重要意义。

我国幅员辽阔,各地气候差异大,寒潮发生频次呈现北多南少,强度北强南弱的空间格局,东北地区、内蒙古北部、新疆北部为寒潮高发区,云贵

地区、四川盆地、青藏高原为低值区^[2-6]。全国性寒潮的累计发生天数显著下降,特别是在 80 年代前后发生了年代际变化^[7],东北地区、华北以及西北地区的新疆减少最为明显^[2-3]。但也有研究指出 20 世纪 90 年代起我国寒潮频次呈上升趋势,21 世纪以来寒潮强度呈增加趋势^[8-9]。关中地区位于陕西省中部,是陕西省的政治、经济、文化中心。作为陕西省重要的粮油和水果生产基地,对寒潮带来的灾害反应敏感^[10],但目前关于关中地区寒潮活动特征及影响因素的研究较少^[11]。本文利用 1971—2022 年关中地区平均气温、最低气温和降水资料,对气候变暖背景下关中地区寒潮时空变化特征和影响因子进行分析,为关中地区寒潮预报预警及防灾减灾工作提供科学依据。

收稿日期:2024-11-12

作者简介:高山(1979—),男,陕西安塞人,硕士,工程师,从事气象探测资料分析。

通信作者:张高健(1975—),男,陕西西安人,学士,工程师,从事气候变化研究与应用。

基金项目:国家自然科学基金(42475194)

1 资料与方法

1.1 研究区概况

关中平原东起潼关,西止宝鸡,南依秦岭,北靠北山,东西长约 360 km,南北宽约 30~80 km,是陕西省三大地形区之一。关中地区包括西安、宝鸡、咸阳、铜川、渭南 5 市,面积 $5.6 \times 10^4 \text{ km}^2$,占全省的 27%。关中属暖温带气候,春季气温回升快但不稳定,降水少,多风沙天气;夏季炎热多雨,间有伏旱;秋季凉爽,较湿润,气温下降快;冬季寒冷干燥,气温低,雨雪稀少。

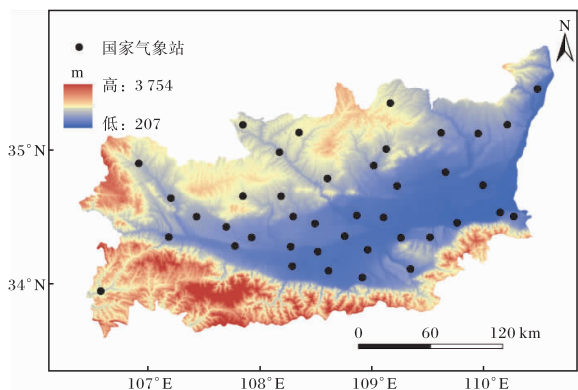


图 1 关中地区地形及气象站点分布
(审图号为陕 S(2021)023 号,下同)

1.2 数据来源

选取关中地区 1971—2022 年资料序列完整的 41 个国家气象站(图 1)的逐日平均气温、最低气温和日降水资料作为研究数据。数据取自气象大数据·天擎平台,对数据进行气候学界限值检验、时间连续性检查、空间连续性检查,剔除疑误数据,经过质量控制后的数据完整可靠,能真实的描述关中地区寒潮时空分布特征。1971—2022 年逐月大气环流数据下载自国家气候中心网站(<http://cmdp.ncc-cma.net/cn/monitoring.htm>),文中所用指数释义详见网站“指数定义”。

1.3 研究方法

根据林纾等^[12]、张高健等^[13]对全国寒潮及陕西省寒潮研究成果,本文采用的单站寒潮和区域性寒潮判定标准如下。

1.3.1 单站寒潮 单站寒潮采用国家标准《寒潮等级》(GB/T 21987-2017)^[14]的规定,判定标准为:单站日最低气温 24 h 内降温幅度 $\geq 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$,或

48 h 内降温幅度 $\geq 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$,或 72 h 内降温幅度 $\geq 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$,且使单站日最低气温 $\leq 4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冷空气活动。

1.3.2 区域性寒潮 区域性寒潮参照气象行业标准《冷空气过程监测指标》(QX/T 393-2017)^[15]并结合本地特征加以修正,判定标准如下:

$$I = \frac{3N_3 + 2N_2 + N_1}{N_3 + N_2 + N_1} \quad (1)$$

式中, I 为区域冷空气过程强度指数; N_3 为寒潮站点数; N_2 为强冷空气的站点数; N_1 为中等强度冷空气的站点数。将 $8 \text{ }^{\circ}\text{C} > \text{单站} \Delta T_{48} \geq 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冷空气定义为中等强度冷空气,单站 $\Delta T_{48} \geq 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 为强冷空气,单站 $\Delta T_{24} \geq 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 或单站 $\Delta T_{48} \geq 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 或单站 $\Delta T_{72} \geq 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$,且 $T_{\min} \leq 4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冷空气为寒潮。每日监测区域内有 20% 及以上观测站单站出现中等及其以上冷空气,且持续两日及以上,则判定为出现一次区域冷空气过程,根据公式(1)计算过程强度指数 I ,把 $1.95 \leq I < 3.00$ 的冷空气过程界定为区域性寒潮过程。

本文采用线性趋势法和 Mann-Kendall 检验分析关中地区寒潮活动特征和影响因素。根据区域性寒潮过程是否伴随降水,把寒潮天气分为干和湿过程,把分析时段区域性寒潮过程的平均降水量当作基准值, $\leq -50\%$ 为干过程, $(-50\%, -20\%)$ 为较干过程, $(-20\%, 20\%)$ 为正常过程, $[20\%, 50\%)$ 为较湿过程, $\geq 50\%$ 为湿过程。

2 结果与分析

2.1 单站寒潮变化特征

2.1.1 空间变化特征 1971—2022 年关中地区单站寒潮累计发生频次纬向特征明显,北多南少(图 2)。高值区主要集中在铜川、咸阳北部及宝鸡的西北部区域,低值区在宝鸡的东南及西安的西南部区域,铜川宜君最多为 346 次,最少为宝鸡的 56 次。寒潮频次趋于增加的站点主要集中在关中北部区域,而趋于减少的则靠近南部区域。41 站中有 18 站寒潮频次趋于增加,其中渭南的白水、咸阳的郴州、宝鸡的千阳增加趋势显著,通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,其余 23 站趋于减少,宝鸡的风翔、咸阳的兴平、西安的鄠邑和周至减少趋势显著,通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。

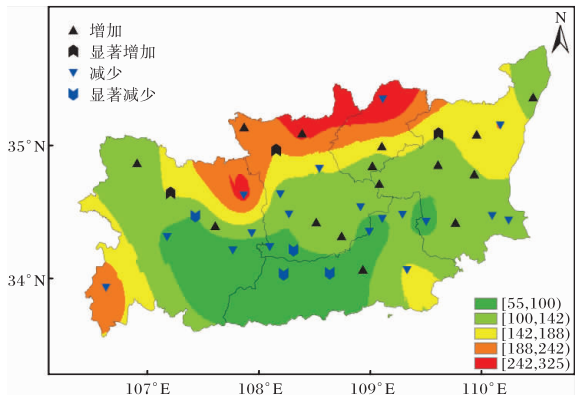


图2 1971—2022年关中地区各站寒潮累计发生频次空间分布和变化趋势

2.1.2 时间变化特征 1971—2022年关中地区单站寒潮累计发生频次呈微弱增加趋势(图3),

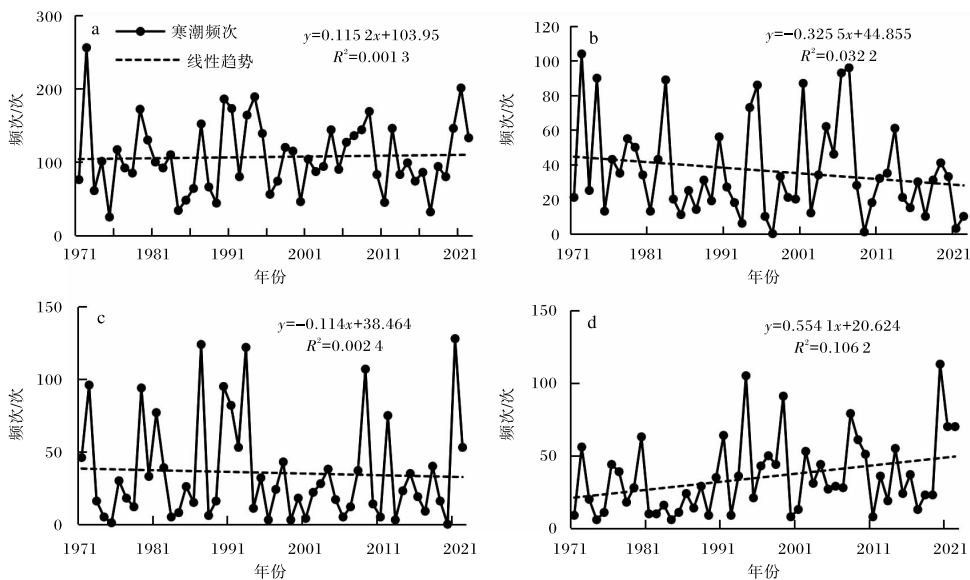


图3 1971—2022年关中地区年(a)、春季(b)、秋季(c)、冬季(d)单站寒潮累计发生频次年际变化

从年代际分布来看(表1),关中地区单站寒潮累计发生频次在2001—2010年最多,1991—2000年次之,2011—2020年最少。一般寒潮、强寒潮、超强寒潮与寒潮总频次年代际分布基本一致,1971—1990年寒潮频次逐渐减少,1991—2000年一般和强寒潮发生频次达到峰值,超强寒潮则在2001—2010年达到峰值,其后再次逐渐减少,强寒潮和超强寒潮均在2011—2020年出现历史最低值。寒潮发生频次季节分布中(表2),春季出现频次最多,共1884次,占全年寒潮频次的33.9%;其次为秋季,共1843次,占比33.1%;冬季位居第三,共1836次,占比33.0%;夏季仅咸

气候倾向率为1.2次/10a,未通过显著性检验,亦未发生突变。分段分析发现,1971—2019年单站寒潮累计发生频次呈减少趋势,整个分析时段增加是由于近3年寒潮频次明显增多。寒潮发生最多年和最少年均出现在1971—1980年间,最多为1972年的256次,最少为1975年的25次,相差10倍之多。1971—2022年春季和秋季寒潮频次呈减少趋势,减少速率分别为3.3次/10a和1.1次/10a,均未通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。冬季寒潮则以5.5次/10a的速率增加,通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,2020年冬季出现自1971年以来的冬季极大值113次。除春季外,年、秋季和冬季寒潮频次近2~3年明显增加。

阳的旬邑在2003年6月出现1次。月尺度寒潮发生频次以11月份最多,共1110次,其次是4月份的974次,6月份仅发生一次寒潮。关中地区春秋季节寒潮发生频繁,特别是4月和11月,此时正是关中地区冬春、秋冬季节转换,气温变化剧烈,降温幅度容易达到寒潮标准。冬季冷空气虽频繁,强度强,但由于基础气温低,降温幅度不易达到寒潮标准,因而寒潮频次少于春秋两季。

2.2 区域性寒潮变化特征

2.2.1 区域性寒潮时间特征 从图4可知,1971—2022年关中地区区域性寒潮发生频次总体呈现减少趋势,气候倾向率为-0.044次/10a,未

表 1 1971—2022 年关中地区不同强度等级寒潮年代际频次次

项目	1971—1980 年	1981—1990 年	1991—2000 年	2001—2010 年	2011—2020 年	2021—2022 年
一般寒潮	845	711	896	865	753	275
强寒潮	235	156	255	243	114	48
超强寒潮	35	29	35	70	18	11
合计	1 115	896	1 156	1 178	885	334

表 2 关中地区近 52 年各月寒潮频次次

月份	1	2	3	4	5	6	9	10	11	12
频次	646	521	784	974	126	1	32	701	1 110	670

通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,也未发生突变。近 52 a 区域性寒潮共发生 78 次,1972 年和 1994 年发生次数最多,均发生 4 次,有 12 a 未出现区域性寒潮。1971—1990 年逐渐减少。1981—1990 年出现历史最低值,1991—2000 年增多并达到历史极值,随后逐渐减少;季节分布上秋季最多为 28 次,春季次之,为 27 次,冬季最少为 23 次。区域性寒潮出现在 10 月至翌年的 5 月,11 月最多出现 15 次,3、4、10 月次之均为 13 次,5 月最少只出现过 1 次。

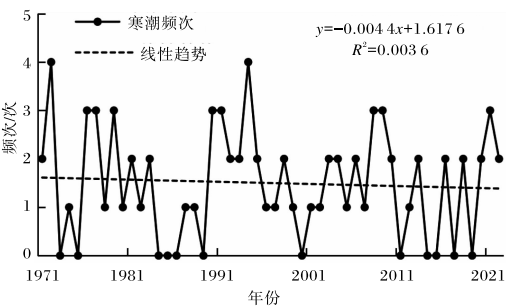


图 4 1971—2022 年关中地区区域性寒潮发生频次年际变化趋势

2.2.2 持续日数特征 1971—2022 年区域性寒潮持续天数在 2~4 d,其中最长持续天数 4 d,仅出现 1 次,为 2002 年 12 月 23—26 日;持续 3 d 的有 12 次,1981—2000 年出现次数最多;持续时间为 2 d 的过程最多,发生 65 次,占到总次数的 83.3%(表 3)。

2.2.3 干湿特征 关中地区 78 次区域性寒潮过程的平均降水量为 2.5 mm,最大过程平均降水量 12.7 mm,最大单站过程降水量 45.3 mm

表 3 1971—2022 年关中地区不同持续时间的区域性寒潮频次年代际变化

时段	2 d	3 d	4 d
1971—1980 年	17	1	0
1981—1990 年	7	3	0
1991—2000 年	15	3	0
2001—2010 年	15	2	1
2011—2020 年	8	1	0
2021—2022 年	3	2	0
合计	65	12	1

(1983 年 3 月 22—23 日,西安临潼)。从表 4 可知,关中地区区域性寒潮干过程发生频次最多(59 次),占总次数的 75.6%,其次是湿过程(8 次),占比 10.3%,正常、较干和较湿过程分别位居三、四、五位。干过程和较干过程频次在三个季节中基本相同;湿过程春季最多,秋季次之,冬季最少;较湿过程仅在春季出现 1 次,秋冬季未出现;正常过程频数春秋季相同,冬季未出现。总体而言,关中地区区域性寒潮干过程占主导地位。

2.3 寒潮影响因素

2.3.1 气候变暖影响 气候变暖一般会导致寒潮频次减少^[16-17]。关中地区 1971—2022 年的年平均气温及春、秋、冬季平均气温均呈增加趋势,春、秋季单站寒潮累计发生频次呈减少趋势,年总频次和冬季为增加趋势,冬季增加趋势明显,与冬季平均气温呈显著的正相关关系,相关系数 0.29 ($P<0.05$),其他季节寒潮频次和对应平均气温没有明显的相关关系(表 5)。分析其原因,应是由于冬季基础气温低,冷空气过境不易达到寒潮

表 4 1971—2022 年关中地区区域性寒潮干湿过程频次分布

项目	干	较干	正常	较湿	湿
过程平均降水量 R/mm	$R\leq 1.1$	$1.2\leq R\leq 2.0$	$2.1\leq R\leq 3.0$	$3.1\leq R\leq 3.6$	$R\geq 3.7$
春季	19	1	3	1	4
秋季	20	2	3	0	3
冬季	20	1	0	0	1
全年	59	4	6	1	8
占比%	75.6	5.1	7.7	1.3	10.3

标准,但当冬季平均气温较高时,冷空气带来的降温会更剧烈,从而导致冬季易达到寒潮标准,寒潮频次增多。

表 5 1971—2022 年关中地区单站寒潮频次变化与平均气温的相关性分析

时段	春季	秋季	冬季	全年
相关系数	0.11	-0.14	0.29 *	0.09

注: * 表示通过 0.05 显著性检验。

2.3.2 地形影响 地形在区域水热条件中起到再分配作用,不同地形对入侵冷空气起到阻挡、聚集、分流等作用。按照冷空气移动路径,关中寒潮天气可分为西北路、北路、西路、东路冷空气型寒潮以及西北路和东路冷空气共同影响型寒潮五种类型,冷空气大多自北向南影响陕西全境,来自西伯利亚—蒙古国的冷空气经由陕北黄土高原进入关中盆地,冷空气下沉滞留,从而在关中北部区域形成寒潮高频区,冷空气向南移动的过程中,海拔降低,下垫面温度变高,与所经过地区产生热量交换,冷空气不断受下垫面加热而逐渐变性,势力也会越来越弱,从而形成关中地区寒潮频次北多南少的纬向型特征。

2.3.3 大气环流因子影响 大气环流变化是引起全球气候变化的重要因素之一,大气环流的异常变化会导致极端天气事件如台风、暴雨、寒潮等的发生。从国家气候中心提供的 130 项大气环流

指数中选取与研究区气温变化紧密相关的北半球极涡强度指数(NHPVI)、东亚槽位置指数(PEAT)、青藏高原指数(TPI)、冷空气指数(CA)、北极涛动指数(AO)、亚洲区极涡强度指数(APVII)与 1971—2022 年关中地区单站寒潮累计频次变化进行相关性分析(表 6)。结果表明,关中地区寒潮发生频次和东亚槽位置指数(PEAT)呈显著的负相关关系,相关系数-0.28 ($P<0.05$),与冷空气指数(CA)呈显著的正相关关系,相关系数 0.31($P<0.05$)。东亚槽位置指数(PEAT)是指 500 hPa 高度场,30°N~55°N、110°E~170°E 区域内,槽线的平均经向位置。东亚槽是北半球中高纬度对流层西风带形成的低压槽,槽前盛行暖平流,槽后盛行冷平流,当东亚槽位置偏西时,槽后的西北气流引导极地的冷空气大规模南下造成的降温事件对关中地区的影响较大,寒潮频次明显增多,关中地区寒潮发生频次最多的 1972 年,PEAT 指数为 137.5°E,最少的 1975 年,PEAT 指数为 148.7°E。冷空气指数(CA)是取北方酒泉、兰州、北京、沈阳、长春、哈尔滨、西安、济南和南方南京、汉口、成都、长沙、贵阳、福州、广州等共 15 站逐日平均气温,3 d 内(个别情况 2 d 或 4 d)连续降温 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (允许某一天变温在 0~1 °C)为一次冷空气过程,其数目为冷空气指数,因此根据 15 站 72 h 气温预报结果,对关中地区寒潮发生有一定的参考指示作用。

表 6 1971—2022 年关中地区单站寒潮频次与影响因子的相关性分析

影响因子	NHPVI	PEAT	TPI	CA	AO	APVII
相关系数	-0.04	-0.28 *	0.12	0.31 *	0.11	0.06

注: * 表示通过 0.05 显著性检验。NHPVI 为北半球极涡强度指数,PEAT 为东亚槽位置指数,TPI 为青藏高原指数,CA 为冷空气指数,AO 为北极涛动指数,APVII 为亚洲区极涡强度指数。

3 讨论与结论

本文对单站寒潮和区域性寒潮特征进行了分析,同时对伴随寒潮的降水现象进行了分级统计分析,得出以下结论。

(1)关中地区单站寒潮呈现北多南少的空间分布特征。铜川、咸阳北部及宝鸡的西北部为寒潮高值区,宝鸡的东南及西安的西南部区域为寒潮低值区。区域内有56%的站点寒潮年发生频次呈减少趋势,44%的站点趋于增加,趋于增加的站点主要集中在关中北部区域,而趋于减少的则靠近南部区域。

(2)1971—2022年关中地区单站寒潮累计发生频次呈不显著增加趋势;季节尺度上,春季、秋季不显著减少,冬季显著增加,寒潮频次春季>秋季>冬季;寒潮频次年内分布上以11月最多,4月次之。

(3)1971—2022年关中地区区域性寒潮共发生78次,呈减少趋势。1981—1990年频次最少,出现历史最低值,1991—2020年增多并达到历史极值,随后逐渐减少;季节分布为秋季>春季>冬季;关中地区区域性寒潮出现在10月至翌年的5月间,11月最多,5月最少。区域性寒潮过程持续时间为2~4 d,持续时间为2 d的占到总次数的83.3%,持续4 d的仅出现1次。关中地区区域性寒潮过程以干过程为主,干和较干过程占到过程总数的80.7%,春、秋、冬三季频次基本相同;湿和较湿过程占到总过程次数的11.6%,季节分布上春季>秋季>冬季。

(4)气候变暖对关中地区冬季单站寒潮频次影响较大,冬季单站寒潮频次与冬季平均气温呈显著的正相关关系。大气环流因子PEAT和CA与关中地区单站寒潮频次呈现显著的相关关系。地理位置和地形特征是造成关中地区寒潮空间分布特征的主要原因。

参考文献:

- [1] IPCC. AR6 synthesis report: Climate change 2023 [R]. 2023.
- [2] 钱维宏,张玮玮. 我国近46年来的寒潮时空变化与冬季增暖[J]. 大气科学,2007(6):1266-1278.
- [3] 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):289-295.
- [4] 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(6):1068-1076.
- [5] 康志明,金荣花,鲍媛媛. 1951—2006年期间我国寒潮活动特征分析[J]. 高原气象,2010(2):172-180.
- [6] 乔雪梅,刘普幸. 中国北方地区寒潮时空特征及其成因分析[J]. 冰川冻土,2020(2):357-367.
- [7] 曾彦博,李旭,夏权,等. 影响中国寒潮年代际变化的主要大气环流模态[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2024,60(3):313-323.
- [8] 朱姜韬,路瑶,李艳. 1970—2019年中国大陆地区寒潮年代际变化及大气环流成因[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2022,58(3):337-346.
- [9] 马力,韦志刚,李娴茹,等. 2000年前后我国寒潮活动特征的比较分析[J]. 冰川冻土,2022,44(6):1757-1772.
- [10] 杜莉丽,刘嘉慧敏,张黎,等. 陕西2018年4月强寒潮天气过程决策服务探讨[J]. 陕西气象,2019(5):53-56.
- [11] 胡淑兰,魏娜,巩祥夫,等. 陕西省寒潮天气的气候特征分析[J]. 陕西气象,2011(5):1-3.
- [12] 林纾,黄鹏程,卢国阳,等. 冬季全国性寒潮识别标准及其气候变化特征[J]. 高原气象,2022,41(6):1522-1531.
- [13] 张高健,赵强,魏俊涛,等. 陕西省寒潮识别标准及其时空变化特征[J/OL]. 沙漠与绿洲气象,1-13[2024-11-07]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/65.1265.p.20241024.1149.006.html>.
- [14] 中国国家标准化管理委员会. 寒潮等级 GB/T21987-2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017:1-2.
- [15] 中国气象局. 冷空气过程监测指标 QX/T393-2017[S]. 北京:气象出版社,2017:1-2.
- [16] 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(4):1169-1178.
- [17] 吕青松,辛存林,王瑞,等. 1966—2018年河西走廊春季寒潮频次及影响因子分析[J]. 干旱区地理,2020,43(4):946-954.