

DOI:10.7522/j.issn.1000-0240.2020.0062

LIU Meijiao, LI Ying, SUN Meiping. Spatial-temporal variation of cold wave frequency and its influencing factors of circulation in Hexi Corridor during 1961–2018[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2020, 42(3):801–811. [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.]

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

刘美娇¹, 李颖¹, 孙美平²

(1. 辽宁师范大学地理科学学院, 辽宁大连 116029; 2. 西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃兰州 730070)

摘要:寒潮是我国北方地区冬、春、秋季节常见气象灾害之一,产生的危害严重影响社会经济发展和人们生产生活。河西走廊生态环境脆弱且处于寒潮影响的重要区域,揭示河西走廊寒潮频次时空变化特征可以为农牧业防灾减灾提供参考。基于1961–2018年河西走廊12个气象站逐日最低气温数据,采用数据分析和空间可视化表达方法,分析近60 a河西走廊寒潮频次时空变化特征,并探讨北极涛动(AO)异常与寒潮频次的响应关系。结果表明:从时间上看,河西走廊的寒潮主要发生在10月至4月,其中11月、12月、4月为寒潮高发时期,近60 a河西走廊寒潮频次呈现出下降的趋势,其中在20世纪80年代出现明显的低值,下降趋势在季节上表现为秋季>春季>冬季;河西走廊寒潮发生频次具有显著的空间差异,其中西部地区最多,东部地区居中,中部地区最少;北极涛动(AO)强弱与河西走廊寒潮频次变化具有时空响应关系,当AO处于负相位时,河西走廊各气象站寒潮发生频次较多,并且在河西走廊东部和西部表现的较为明显。

关键词:寒潮;频次;时空特征;北极涛动

中图分类号: P461 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0240(2020)03-0801-11

0 引言

寒潮是高纬度地区大规模强冷空气达到一定强度,并迅速南下的活动过程,在此过程中产生的剧烈降温容易造成雪灾、生物冻害等一系列恶劣性灾害,给社会经济、生态系统等带来重大影响^[1]。在全球气候变化背景下,北半球中高纬度的增温较为明显,气候异常、灾害性天气现象频发^[2]。2008年我国出现大范围气温异常偏低天气,形成历史上罕见的低温灾害,造成南方大范围地区电网受损、引发了百年不遇的巨灾^[3]。2020年2月13–16日,我国出现全国性寒潮过程,产生强降温、降雪以及强对流天气,22.6%的国土面积降温幅度超过12℃,辽宁、陕西、重庆、广西等11省区市均经历

了雪灾或冰雹灾害^[4]。寒潮给经济社会发展带来严重危害,尤其是对人们生产生活的影响是不可忽略的。因此,寒潮事件的研究显得尤为重要。

我国早在20世纪中期就对寒潮展开了研究,可以分为三个方面。一是对寒潮侵袭的源地、侵袭路径^[5–6]及其过程中天气系统变化^[7]的研究,在此基础上对寒潮的成因^[8]及其预报方式^[9–10]进行探究,此阶段奠定了经典寒潮理论的基础^[11]。研究表明,侵袭我国的寒潮绝大多数来自北冰洋,分三条主要路径侵入我国,寒潮爆发与西伯利亚高压等天气系统的改变密切相关。二是在气候变暖的背景下,对我国寒潮频次时空变化特征、影响因子、形成机理等方面的研究^[12–14]。20世纪90年代以来,我国冬春季气温呈显著上升趋势。在气候变暖加剧的背景

收稿日期: 2020-03-27; 修订日期: 2020-07-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(41801052)资助

作者简介: 刘美娇(1997–),女,吉林长春人,2018年在西北师范大学获学士学位,现为辽宁师范大学在读硕士研究生,从事气候与环境变化研究。E-mail: liumeijiao1220@163.com

通信作者: 李颖,讲师,从事区域气候、气象灾害风险评估研究。E-mail: lynn8686@163.com.

下,全国性寒潮呈现出显著的下降趋势,且部分地区寒潮强度减弱明显,这可能与北极涛动位相的增强有关。三是对于不同研究区寒潮频次的变化特征及影响因素等方面的研究^[15-20]。一些学者^[15-20]分别分析了新疆、山东、辽宁、东北地区、宁夏、贵州高原的寒潮变化特征,结果表明各地寒潮频次均表现为不同程度的下降趋势。

我国疆土辽阔,南北气候差异显著,不同地区基于当地气候特点和长期预报经验制定了适用于该地区的寒潮标准。在判别寒潮的标准中主要分为两类,一是以过程降温和温度距平相结合来判别寒潮,过程降温与温度距平在不同的研究中有不同的定义^[13-14,21]。这种标准是基于“寒潮过程”的定义。二是降温幅度和最低气温相结合来判别寒潮,降温幅度指的是某气象站 24 h、48 h、72 h 内最低气温(或平均气温)的差值,当某日的降温幅度和最低气温达到条件时,则说明某气象站当日出现寒潮^[12,16,18-20]。这种标准是逐日连续“寒潮日”的判别^[22]。本文引用《寒潮等级》(GB/T 21987-2017)中的标准来判识河西走廊寒潮,得到的是“寒潮日”。

河西走廊地区不仅是全球气候变化最为敏感的区域之一,而且也是我国寒潮影响路径上的重要区域之一。河西走廊区域内存在大面积的绿洲,是

中国西北地区的商品粮基地。极端气候事件的增多对农业发展产生不利影响,春季是农作物播种的重要时期,在此时期如果遭受寒潮将会造成一定的经济损失,危害粮食安全,而目前关于河西走廊寒潮的研究多以某次寒潮天气过程分析为主^[23-24]。基于此,本文选取河西走廊为研究区域,分析 1961-2018 年寒潮频次不同时间尺度以及空间变化特征,并分析大气环流与河西走廊寒潮频次变化的关系,以期为甘肃省“一带一路”经济带的建设、河西走廊气候变化、寒潮预报和农牧业防灾减灾提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 研究区概况

河西走廊位于甘肃省西北部,甘新省界以东,乌鞘岭以西,其南为海拔四、五千米的祁连山脉、阿尔金山东段,其北为部分沙漠(巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠)和北山(马鬃山、合黎山和龙首山),是我国重要的绿洲农业基地。其中南部祁连山地是石羊河、黑河和疏勒河三大内陆河发源地(图 1)。河西走廊为温带大陆性气候,气温年较差较大,其东部主要受到东南季风和西南季风的影响、西部受到西风环流的影响、中部受到两大环流的共同影响,因而造成区域内部气候差异^[25]。

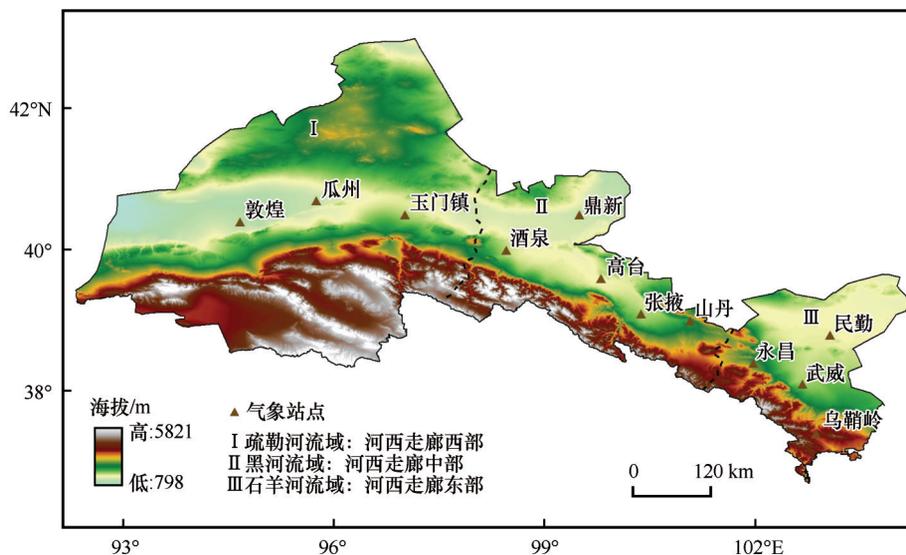


图 1 河西走廊地形及气象站点分布

Fig. 1 Terrain and meteorological stations in Hexi Corridor

1.2 数据来源

河西走廊 12 个气象站逐日最低气温数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>), 时间跨度

为 1961 年 9 月 - 2019 年 5 月, 根据石羊河、黑河、疏勒河流域的界限将河西走廊气象站划分为东部、中部和西部, 其中河西走廊东部的气象站包括永

昌、民勤、武威、乌鞘岭; 河西走廊中部的气象站包括酒泉、鼎新、高台、张掖、山丹; 河西走廊西部的气象站包括敦煌、瓜州、玉门镇。

由于寒潮主要发生在冬、春、秋季, 而夏季最低气温较高, 所以本文研究时间段为当年的 9 月至次年 5 月, 按 9 - 11 月为秋季、12 月 - 次年 2 月为冬季、3 - 5 月为春季进行季节划分。将当年 9 月 1 日 - 次年 5 月 31 日的时间范围定义为一个完整的寒潮统计年, 如 1961 年 9 月 - 1962 年 5 月所统计出的寒潮频次作为 1961 年的寒潮频次, 依此类推^[26]。

北极涛动(AO)逐月指数来源于美国国家海洋大气管理局^[26], 时间序列为 1961 年 9 月 - 2019 年 5 月。

1.3 寒潮标准

依据《寒潮等级》(GB/T 21987-2017)中的规定, 确定河西走廊寒潮标准。即某一地区冷空气过境后, 日最低气温在 24 h 内下降大于或等于 8 ℃, 或在 48 h 内下降大于或等于 10 ℃, 或在 72 h 内下降大于或等于 12 ℃, 且使该地的日最低气温小于或等于 4 ℃的冷空气活动称为寒潮。若符合以上任何一项标准, 则该站达到寒潮标准, 记为一次寒潮。

1.4 研究方法

以河西走廊 1961 - 2019 年逐日最低气温数据为基础, 在对寒潮频次的长期变化特征进行分析时, 主要采用一元线性回归分析和 Mann-Kendall 趋势检验方法, 其中对寒潮频次年际变化趋势进行 Mann-Kendall 突变分析; 利用相关分析方法分析寒潮频次与北极涛动指数的相关性。

1.4.1 一元线性回归分析和 Mann-Kendall 趋势检验方法

本文运用一元线性回归来表达河西走廊寒潮频次的变化趋势, 并通过 Mann-Kendall 趋势检验方法对变化趋势的显著性进行检验, 显著性水平为 0.05。用 x_i 表示样本量为 n 的某一气象变量, 用 t_i 表示 x_i 所对应的时间, 建立 x_i 与 t_i 之间的一元线性回归方程:

$$x_i = a + bt_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中: a 为回归常数; b 为回归系数。 a 和 b 可以用最小二乘法估计。常用 b 的 10 倍来表示气候倾向率, 当 b 大于 0 时, 表明 x 呈上升趋势; 当 b 小于 0 时, 表明 x 呈下降趋势。

1.4.2 相关分析

地理要素之间相互关系的密切程度可以用相关分析表达, 而其测定主要是通过对相关系数的计算与检验来完成的。相关系数的计算公式如下:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

式中: x 和 y 为相关分析的两个要素; \bar{x} 、 \bar{y} 为要素 x 和要素 y 的平均值。相关系数 r_{xy} 取值范围在 $[-1, 1]$ 之间, 当 r_{xy} 大于 0 时, 表示要素 x 和要素 y 呈正相关; 当 r_{xy} 小于 0 时, 表示要素 x 和要素 y 呈负相关; 当 r_{xy} 等于 0 时, 表示要素 x 和要素 y 呈不相关。相关系数的检验是在给定的置信水平下, 对相关性结果进行检验, 以确定要素 x 和要素 y 的相关性是否显著, 本文的置信水平为 0.05。

2 结果与分析

2.1 寒潮频次的时间变化特征

2.1.1 寒潮频次的年际变化

利用一元线性回归和 Mann-Kendall 趋势检验, 对河西走廊东部、中部、西部寒潮频次年际变化进行分析和显著性检验可知[图 2(a), 2(c), 2(e)], 近 60 a 河西走廊各区域寒潮频次均呈现下降趋势, 其中东部、中部、西部的趋势系数分别为 $-0.23 \text{ 次} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ($P=0.22$)、 $-0.19 \text{ 次} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ($P=0.27$)、 $-0.30 \text{ 次} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ($P<0.05$), 说明河西走廊西部地区寒潮频次下降趋势显著, 并且大于中部和东部地区寒潮频次的下降趋势。在全球变暖的背景下, 西伯利亚高压和冬季风强度的减弱使得中国地表温度上升可能是寒潮频次减少的原因之一^[14]。

在变化阶段上, 由各区域寒潮频次的 5 a 滑动平均曲线可知, 河西走廊东部、中部、西部地区在 20 世纪 80 年代之前, 寒潮频次呈现出下降-上升的波动变化, 但在总体上寒潮频次呈现下降的趋势, 其中寒潮发生频次在 20 世纪 60 年代最多, 在 20 世纪 70 年代开始下降, 在 20 世纪 80 年代出现明显的低值。河西走廊地区的年平均气温在 1986 年发生突变, 气温开始迅速升高, 这可能导致寒潮频次减少^[27]。在 20 世纪 80 年代之后, 东部和西部寒潮频次的变化特征相似, 在 1998 年出现寒潮频次较高值, 寒潮频次分别为 8.8 次、10.2 次, 在 21 世纪初出现较低值, 在 2012 年之后, 寒潮发生频次均较少。中部地区在 20 世纪 90 年代寒潮发生频次较少, 而在 21 世纪后寒潮发生频次有所增加, 但总体

上呈现平稳的波动趋势。

通过对河西走廊不同区域寒潮频次进行Mann-Kendall突变分析得到，河西走廊中部和西部在1972年之后，UF曲线始终低于零值参考线，表明

寒潮频次在此期间呈现一种减少的态势。在东部1989-1998年、西部1984-2011年UF曲线甚至低于0.05显著性检验线，表明在这些时期寒潮频次减少趋势显著[图2(b), 2(d), 2(f)]。

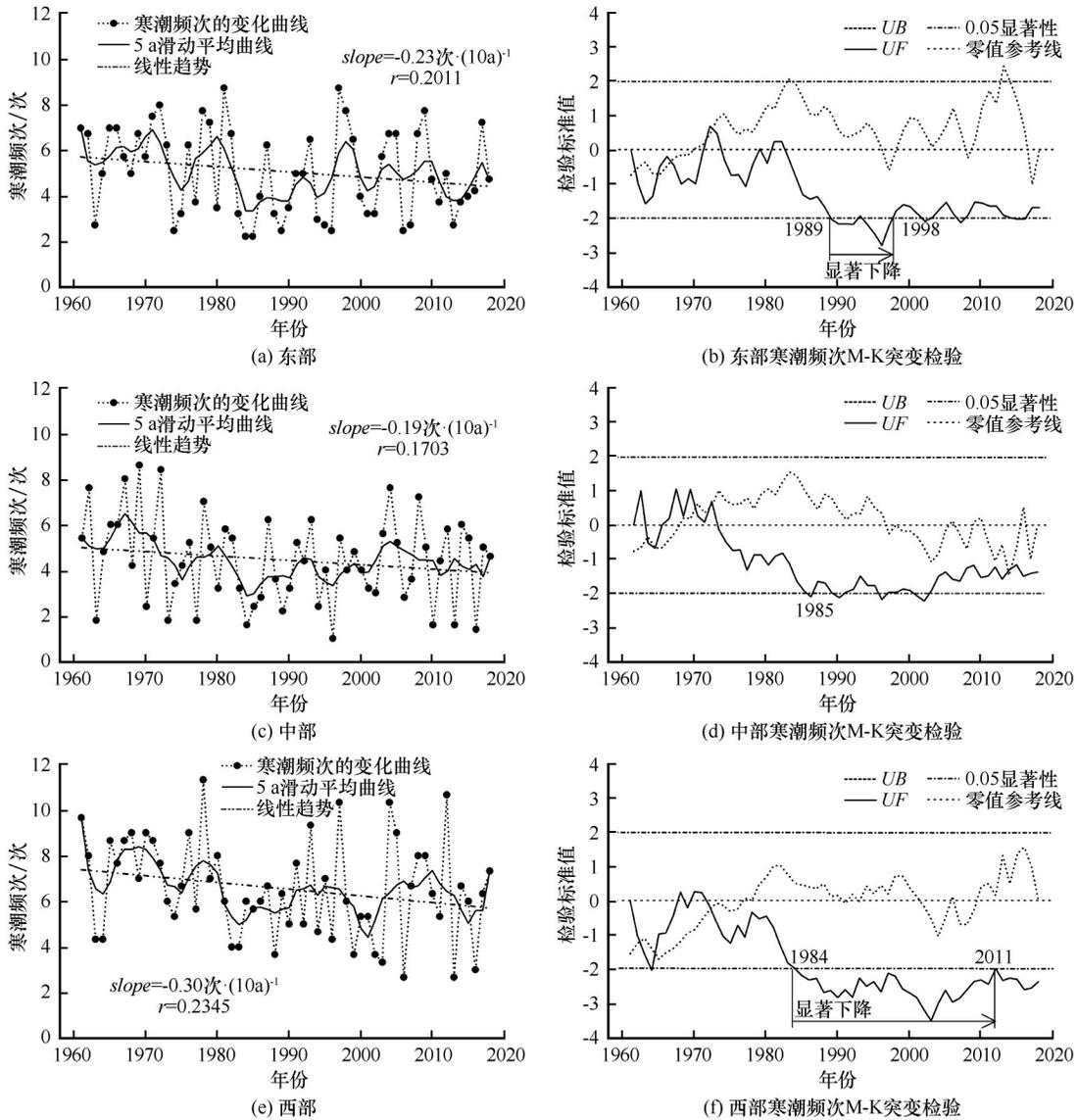


图2 1961-2018年河西走廊寒潮频次年际变化及其Mann-Kendall突变检验

Fig. 2 Interannual variation and Mann-Kendall mutation test of cold wave frequency in Hexi Corridor from 1961 to 2018

2.1.2 不同季节寒潮频次的年际变化

统计河西走廊东部、中部、西部各季节寒潮频次变化，并采用Mann-Kendall趋势检验方法对变化趋势进行显著性检验，发现除河西走廊中部和西部秋季寒潮频次变化曲线通过0.05显著水平检验外，其他区域变化趋势均没有通过0.05显著性水平检验(图3)。

从同一区域不同季节寒潮频次年际变化趋势来看(图3)，河西走廊寒潮频次下降趋势秋季>春季

>冬季。在春季，从5 a滑动平均曲线中可知，河西走廊东部、中部和西部寒潮发生频次在20世纪80年代出现明显的低值，这与年变化中寒潮频次变化趋势是一致的。其中东部地区寒潮频次在20世纪60年代和70年代寒潮发生频次均较多，在20世纪80年代出现低值之后，总体上寒潮频次变化不大；中部地区寒潮频次变化幅度较小，寒潮频次在0~4次之间；西部地区寒潮频次在0~6次之间，其中1961年、1988年寒潮频次分别为6次、0次，是近

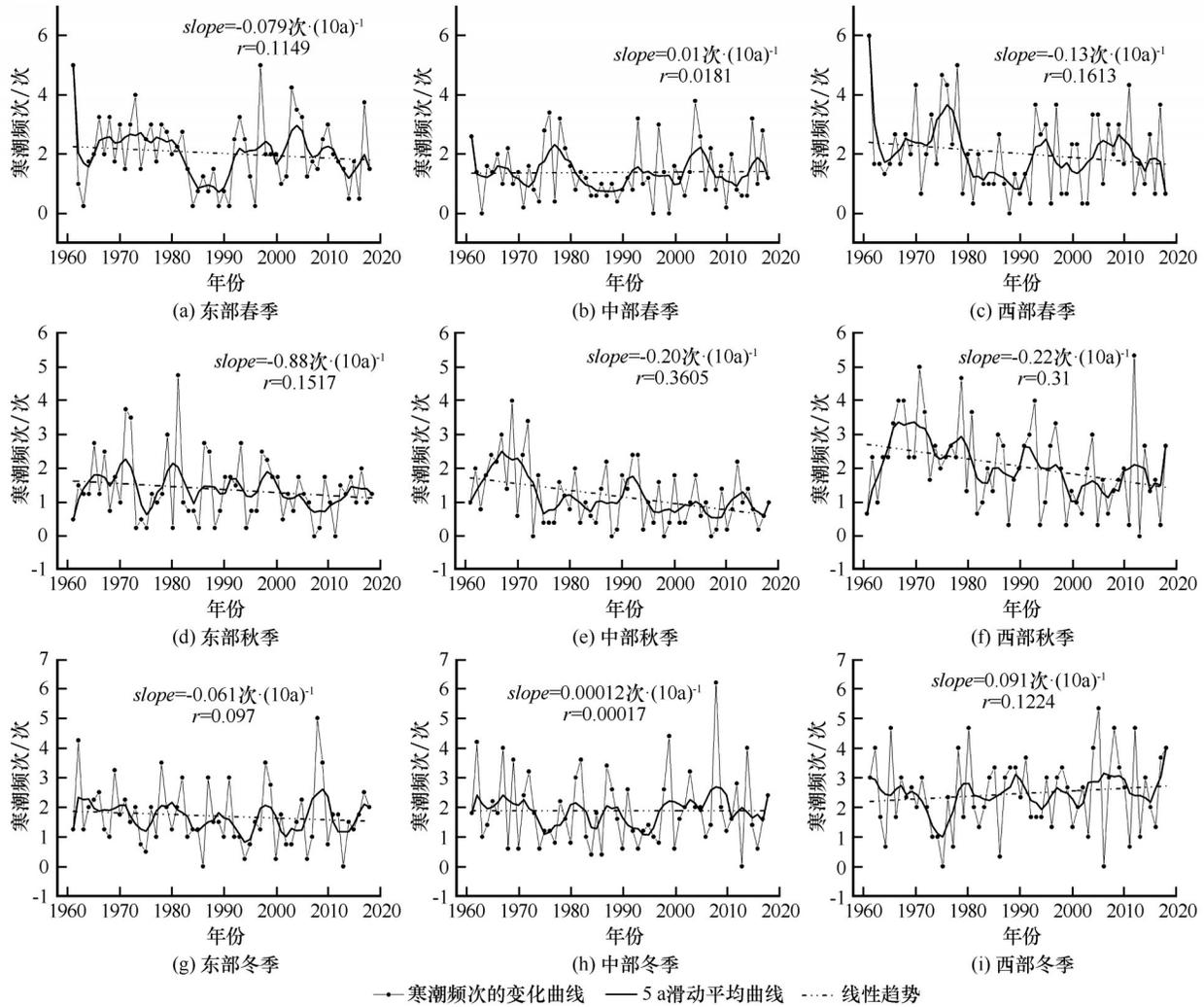


图3 1961—2018年河西走廊不同季节寒潮频次变化

Fig. 3 Seasonal variation of cold wave frequency in Hexi Corridor from 1961 to 2018

60 a年春季寒潮频次年际振幅最大值。在秋季,河西走廊中部和西部寒潮频次下降趋势通过显著性检验,而东部地区下降趋势没有通过显著性检验,下降趋势分别为 $-0.20 \text{次} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ($P < 0.05$), $-0.22 \text{次} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ($P < 0.05$), $-0.88 \text{次} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。其中东部地区寒潮频次处于 $0 \sim 4.9$ 次之间,在20世纪60年代寒潮发生频次最多,在21世纪初寒潮发生频次最少;中部地区寒潮频次在 $0 \sim 4$ 次之间,在20世纪60年代和70年代中期寒潮发生频次较多,之后为波动的下降趋势;西部地区寒潮发生频次在 $0 \sim 6$ 次之间,20世纪60年代寒潮发生频次较多,21世纪初寒潮发生频次较少。在冬季,河西走廊中部和西部地区寒潮频次呈上升趋势,东部地区寒潮频次呈下降趋势,但是均没有通过显著性检验。东部和中部地区的5 a滑动平均曲线变化不大,而西部地区在20世纪70年代寒潮频次出现较低值。

2.1.3 寒潮频次的月际变化

河西走廊寒潮主要发生在10月—次年4月,其中11月、12月、4月为寒潮高发时期。11月—次年2月寒潮频发地区主要分布在敦煌、玉门镇和鼎新,而4月寒潮高发地区为玉门镇、武威、民勤、乌鞘岭(图4)。为全面认识河西走廊各区域寒潮频次月际变化,进一步分析河西走廊东部、中部及西部逐月寒潮频次占各自区域所有月份寒潮总频次的比例(图5),发现9月寒潮发生频次最少,在东部、中部和西部所占比例均小于6%;10月寒潮发生频次在西部所占比例较多,为13.1%;11月寒潮发生频次在西部为所有月份中所占比例最多的月份,为15%;12月、1月、2月寒潮发生频次所占比例在东部、中部、西部均超过10%,其中中部在12月寒潮发生频次最多,所占比例高达15.1%;3月寒潮发生频次所占比例在中部最低,

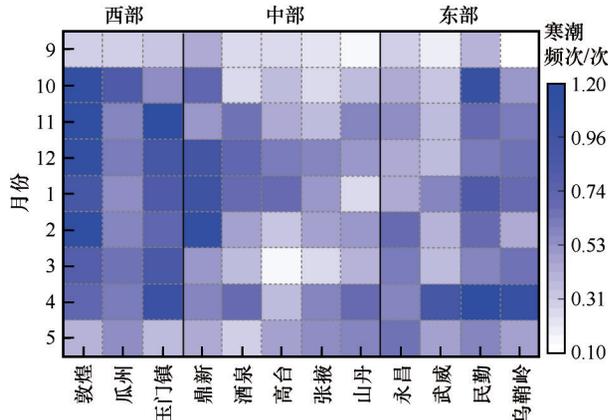


图4 河西走廊各气象站逐月平均寒潮频次变化
Fig. 4 Monthly variation of average cold wave frequency of each station in Hexi Corridor

仅为7.7%，而在东部和西部寒潮发生频次所占比例均超过10%；4月寒潮发生频次在东部、中部、西部所占比例均较高，其中在东部所占比例最多，为18%；5月寒潮发生频次所占比例在东部和中部数值大致相同，为10%，而西部所占比例仅为6.7%。

2.2 河西走廊寒潮频次空间变化特征

1961 - 2018年河西走廊各气象站寒潮年均发生频次表明[图6(a)], 河西走廊西部地区寒潮发生频次最多, 东部地区居中, 中部地区寒潮发生频次最少。寒潮频次西部多于中部和东部的原因与地

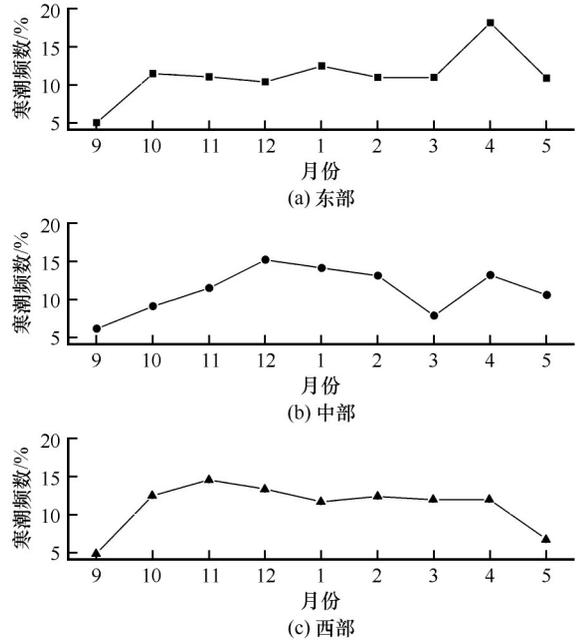


图5 1961 - 2018年河西走廊逐月寒潮频次所占比例
Fig. 5 Proportion of monthly cold wave frequency in Hexi Corridor from 1961 to 2018

形和典型环流形有关, 河西走廊气流型可分为西北型气流与偏北型气流, 当冷空气自西北向东南移动时, 河西走廊地表广泛分布着高山、中低山(如黑山、宽台山和大黄山等), 对冷空气具有一定的阻挡作用, 所以导致河西走廊寒潮发生频次西部多于中部和东部地区。

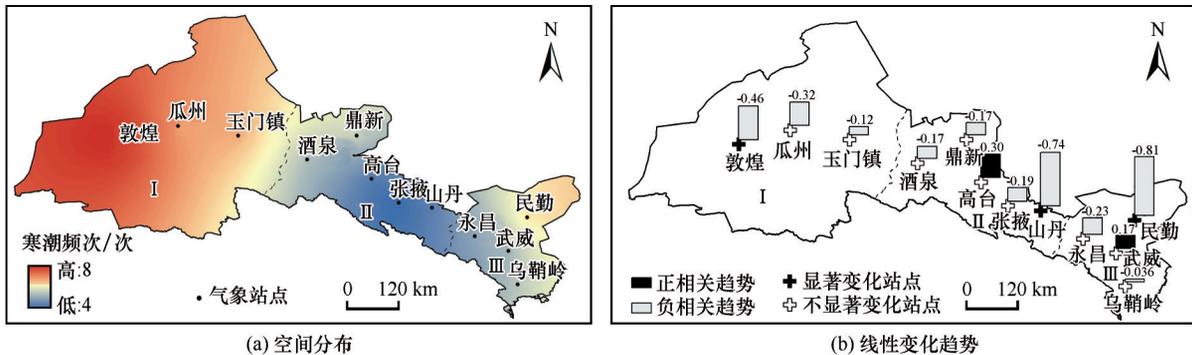


图6 1961 - 2018年河西走廊年平均寒潮发生频次空间分布(a)和线性变化趋势(b)[单位:次·(10a)⁻¹]
Fig. 6 Spatial distribution of annual mean cold wave frequency (a) and its linear tendency (b) from 1961 to 2018 in Hexi Corridor

由图6(a)可得, 在东部地区寒潮发生频次在其北部民勤最多, 为6.7次, 南部乌鞘岭适中, 为5.1次, 而永昌和武威寒潮发生频次较少, 年均寒潮发生频次分别为4.7次、3.9次。这种分布与民勤的地理位置有关, 民勤紧邻巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠, 在冷空气入侵时, 除平流降温外, 在夜间辐射降温特别明显, 造成降温幅度增大, 达到寒潮标准

的机会增大。在中部地区寒潮频次呈现由西北向东南递减的特征, 其中鼎新年均寒潮发生频次最多, 为6.2次。西部地区寒潮频次呈现由西向东递减的特征, 其中敦煌寒潮发生频次多于瓜州和玉门镇, 也是整个河西走廊寒潮发生频次最多的地区, 年均发生频次为7.9次。

计算河西走廊各气象站1961 - 2018年寒潮频

次的线性趋势系数,并对变化趋势进行 Mann-Kendall 显著性检验[图 6(b)]。结果表明整个研究时段的发展趋势变化介于 $-0.81 \sim 0.30 \text{次} \cdot (10\text{a})^{-1}$,从总体看,除高台和武威外,其他所有气象站均呈现负相关趋势,即近 60 a 来寒潮频次呈现下降趋势,其中河西走廊东部地区民勤、中部地区的山丹、西部地区的敦煌寒潮发生频次呈显著的减少趋势,线性趋势系数分别为 $-0.81 \text{次} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 、 $-0.74 \text{次} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 、 $-0.46 \text{次} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。河西走廊的中部的高台和东部的武威的线性趋势系数呈弱增加趋势,但是没有通过显著性检验。

2.3 北极涛动对河西走廊寒潮频次的影响

北极涛动(AO)是北半球中高纬度与极地之间存在的一种气压场反相振荡现象,是一种大气环流特征变化的环状模态^[12,28]。北极涛动与我国气温和降水存在密切的关系,对北半球气候具有显著影响。本文利用美国国家海洋和大气局提供的逐月 AO 指数,分析 AO 对河西走廊寒潮频次变化的影

响。AO 指数是通过对北半球热带外 20°N 以北 ($20^\circ \sim 90^\circ \text{N}$) 的海平面气压进行经验正交函数分析(EOF)分解所得,可以表征北极涛动的正相位和负相位的变化,对研究我国冬季气温、降水等具有重要意义^[28-30]。

由表 1 可知,河西走廊年均、春季、秋季、冬季寒潮频次与 AO 指数的相关系数分别为 $-0.36 (P < 0.01)$ 、 $-0.30 (P < 0.05)$ 、 -0.24 、 -0.09 ,说明河西走廊在年均和春季的寒潮频次与 AO 指数呈显著的负相关关系,而在秋季和冬季与 AO 指数呈弱相关关系。在 AO 指数与各气象年年寒潮频次的相关分析中,东部地区乌鞘岭、中部地区酒泉和山丹、西部地区敦煌和玉门镇的相关系数通过 0.05 的信度检验,其中酒泉、玉门镇、乌鞘岭通过了 0.01 的信度检验。在 AO 指数与各季节寒潮频次变化的相关分析中,春季永昌、乌鞘岭通过 0.05 的信度检验,秋季敦煌通过 0.05 的信度检验,冬季没有气象站通过检验。

表 1 河西走廊寒潮频次与北极涛动(AO)指数的相关分析

Table 1 Correlation coefficients between cold surge frequency and Arctic Oscillation

站点	河西走廊	西部			中部			东部					
		敦煌	安西	玉门镇	鼎新	酒泉	高台	张掖	山丹	永昌	武威	民勤	乌鞘岭
年均	-0.36**	-0.29*	-0.21	-0.38**	-0.16	-0.34**	-0.03	-0.08	-0.29*	-0.17	-0.08	-0.22	-0.44**
春季	-0.30*	-0.19	-0.03	-0.23	-0.16	-0.25	-0.09	-0.24	-0.27	-0.30*	-0.23	-0.06	-0.32*
秋季	-0.24	-0.30*	-0.21	-0.15	0.04	-0.25	-0.04	0.08	-0.11	-0.13	-0.07	-0.18	-0.18
冬季	-0.09	-0.18	-0.09	-0.09	0.10	-0.09	0.20	0.02	-0.12	-0.10	0.01	-0.09	-0.24

注: *表示通过显著水平 0.05 检验; **表示通过显著水平 0.01 检验。

当 AO 处于正相位时,冷空气更多被限制在北极地区,东亚冬季风偏弱,冷空气频次减少,中低纬度偏暖。相反地,当 AO 处于负相位时,北极地区的冷空气向南移动,东亚冬季风增强,造成中低纬度的寒冷天气^[31-32]。为分析 AO 正相位与负相位对河西走廊寒潮频次的影响,利用 AO 指数确定 AO 正相位异常年和负相位异常年(以下简称为 AO 正异常年和 AO 负异常年),对比 AO 正异常年与负异常年各气象站的寒潮频次。确定 AO 正负异常年的标准是 AO 指数的标准差大于或等于 0.5 的年份为 AO 正异常年,标准差小于或等于 -0.5 的年份为 AO 负异常年^[33],其余年份为 AO 正常年,其中在年份划分上与寒潮年份划分保持一致(表 2)。

分别统计各气象站在 AO 正负异常年的寒潮频次,并将 AO 正负异常年平均寒潮频次与正常年平

表 2 北极涛动正负相位异常年份

Table 2 Arctic Oscillation in positive and negative phases

标准	年份
正距平 ≥ 0.5	1975、1988、1989、1999、2001、2006、2008、2011、2013、2014
负距平 ≤ -0.5	1962、1965、1968、1969、1976、1979、1984、1995、2000、2009、2012

均寒潮频次相减(图 7)。结果可得,各气象站在 AO 负异常年的寒潮频次平均值明显高于 AO 正异常年,其中河西走廊西部敦煌、玉门镇、东部民勤、乌鞘岭表现的尤为明显,而张掖、武威寒潮频次平均值相差不大;AO 正负异常年与正常年平均寒潮频次的差值曲线呈现出相反的趋势。在 AO 正异常年时,敦煌、玉门镇、山丹、永昌、乌鞘岭的寒潮发生频次较少,在 AO 负异常年时,除河西走廊中部

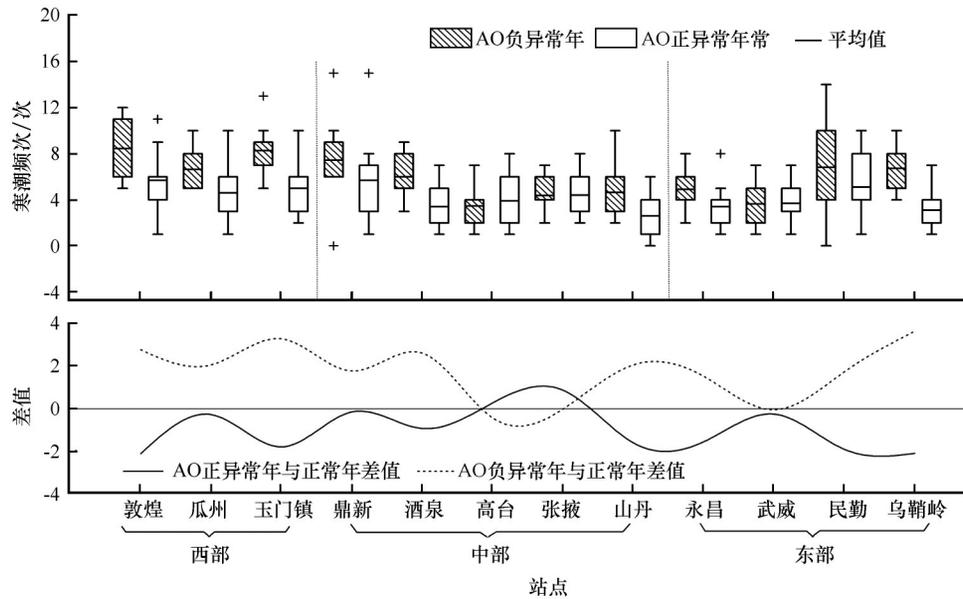


图7 北极涛动(AO)对河西走廊各气象站寒潮频次变化的影响

Fig. 7 Influence of AO on the variation of cold wave of each station in Hexi Corridor

地区高台、张掖外,其余地区寒潮发生频次均较多。说明AO正负相位影响河西走廊各区域寒潮频次,并且在河西走廊东部和西部表现的较为明显。

3 结论与展望

利用1961–2018年12个气象站逐日最低气温数据,对河西走廊各区域寒潮频次的时空变化特征进行分析,并以北极涛动(AO)为切入点,分析了AO与河西走廊各区域寒潮频次变化的时空响应关系,主要结论为:

(1) 在时间变化上,近60 a河西走廊东部、中部、西部寒潮频次均呈现出下降的趋势,其中西部寒潮频次下降趋势要大于中部和东部,各区域寒潮频次在20世纪80年代出现明显的低值;月尺度统计结果表明寒潮主要发生在10月–次年4月,其中东部4月寒潮频次所占比例最多,中部12月寒潮频次所占比例最多,而西部11月寒潮频次所占比例最多;在季节变化上,河西走廊寒潮频次下降趋势秋季>春季>冬季。

(2) 在空间变化上,河西走廊各地区寒潮发生频次具有显著的空间差异,西部地区寒潮发生频次最多,东部地区居中,中部地区寒潮发生频次最少。通过对各气象站的近60 a寒潮频次变化趋势进行Mann-Kendall趋势检验得出民勤、山丹和敦煌寒潮发生频次减少趋势显著。

(3) 在影响因素上,河西走廊地区年均寒潮发

生频次与北极涛动呈显著负相关关系。北极涛动强弱与河西走廊各区域寒潮频次变化具有时空响应关系,在AO正异常年时,大部分地区寒潮发生频次较少;在AO负异常年时,除河西走廊中部地区高台、张掖外,其余地区寒潮发生频次均较多。说明AO正负相位影响河西走廊各区域寒潮频次,并且在河西走廊东部和西部表现的较为明显。

本文统计出1961–2018年河西走廊东部、中部、西部寒潮频次均呈下降趋势,但受篇幅和研究内容的影响,尚未分析寒潮强度的时空变化特征,但在实际应用中强度和频次同等重要,将继续开展寒潮强度的研究。

此外,河西走廊地表条件复杂,绿洲农业是其经济发展的重要途径之一。河西走廊地区尤其是西部地区春季极易发生寒潮,倒春寒对农作物的生长极为不利。河西走廊玉米在4月上旬播种,而统计河西走廊东部地区在4月寒潮发生频次最多。因此,需要科学评估寒潮风险,以加强农业应对和适应气候变化的能力,从而达到减轻气象灾害损失的目的。

参考文献(References):

- [1] Mansur Sabit. Climatic characteristics of cold wave and its impact on agriculture in Southern Xinjiang in recent 60 years[J]. Journal of Natural Resources, 2012, 27(12): 2145–2152. [满苏尔·沙比提. 南疆近60 a来寒潮气候特征及其对农业生产的影响[J]. 自然资源学报, 2012, 27(12): 2145–2152.]
- [2] IPCC. Climate change 2013: The physical science basis: working Group I contribution to the Fifth assessment report of the In-

- tergovernmental panel on climate change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [3] Shi Peijun, Li Ning, Yeqian, et al. Research on global environmental change and integrated disaster risk governance [J]. *Advances in Earth Science*, 2009, 24(4): 428 - 435. [史培军, 李宁, 叶谦, 等. 全球环境变化与综合灾害风险防范研究[J]. *地球科学进展*, 2009, 24(4): 428 - 435.]
- [4] China Meteorological Administration. The Central Meteorological Observatory released the characteristics and Impact assessment of the first cold wave in 2020 [R/OL]. (2020-02-16) [2020-03-14]. http://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxw/2011xqxyw/202002/t20200216_546874.html. [中国气象局. 中央气象台发布 2020 年首个寒潮天气过程特点与影响评估[R/OL]. (2020-02-16) [2020-03-14]. http://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqxw/2011xqxyw/202002/t20200216_546874.html.]
- [5] Li Zengzhong. Professor Li Xianzhi's research on meteorological disasters and its impact [J]. *Journal of Peking University (Natural Science Edition)*, 2006, 42(5): 569 - 577. [李曾中. 李宪之教授之气象灾害研究成果及影响[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2006, 42(5): 569 - 577.]
- [6] Tao Shiyuan. A ten year study of the east Asian cold wave in China [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1959, 30(3): 226 - 230. [陶诗言. 十年来我国对东亚寒潮的研究[J]. *气象学报*, 1959, 30(3): 226 - 230.]
- [7] Ding Yihui, Meng Xiao. A case study of development of a cold surge after outbreak of cold wave in East Asia [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1994, 52(4): 442 - 451. [丁一汇, 蒙晓. 一次东亚寒潮爆发后冷涌发展的研究[J]. *气象学报*, 1994, 52(4): 442 - 451.]
- [8] Ding Yihui, Wen Shigeng, Li Yunjin. Study on the high pressure dynamic structure of Siberia in winter [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1991, 48(4): 430 - 439. [丁一汇, 温市耕, 李运锦. 冬季西伯利亚高压动力结构的研究[J]. *气象学报*, 1991, 48(4): 430 - 439.]
- [9] Zhang Jijia, Peng Yongqing, Wang Dingliang. The application of Fourier and spherical harmonics to medium-range forecasting of cold waves [J]. *Transactions of Atmospheric Sciences*, 1982, 5(1): 9 - 14. [章基嘉, 彭永清, 王鼎良. 球谐函数展开在寒潮中期预报上的应用[J]. *南京气象学院学报*, 1982, 5(1): 9 - 14.]
- [10] Chen Jing, Sang Zhiqin. Numerical forecast product dynamic-statistical interpretation method and cold wave forecast [J]. *Meteorological Monthly*, 1998, 24(2): 34 - 38. [陈静, 桑志勤. 数值预报产品动力-统计释用方法与寒潮预报[J]. *气象*, 1998, 24(2): 34 - 38.]
- [11] Zhu Qianguan, Lin Jinrui, Shou Shaowen, et al. Principle and methods of synoptic meteorology [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1992: 377 - 418. [朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 1992: 377 - 418.]
- [12] Wei Fengying. Variation characteristics of the cold wave in China under the back ground of global warming [J]. *Progress in Natural Science*, 2008, 18(3): 289 - 295. [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.]
- [13] Qian Weihong, Zhang Weiwei. Changes in cold wave events and warm winter in China during the last 46 years [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2007, 31(6): 1266 - 1278. [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, 31(6): 1266 - 1278.]
- [14] Wang Zunya, Ding Yihui. Climate change of the cold wave frequency of China in the last 53 years and the possible reasons [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2006, 30(6): 1068 - 1076. [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.]
- [15] Jiang Yuanan, Yin Yizhou, Fan Jing, et al. Various levels of cold air in Xinjiang region from 1961 through 2016: climatic characteristics and variation [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2018, 40(3): 448 - 460. [江远安, 尹宜舟, 樊静, 等. 1961 - 2016 年新疆单站不同等级冷空气过程气候特征及变化[J]. *冰川冻土*, 2018, 40(3): 448 - 460.]
- [16] Huang Weinan, Li Xue, Dong Sheng. Study on intensity change characteristics of cold wave in Shandong Province by wavelet analysis [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2017, 26(3): 56 - 62. [黄炜楠, 李雪, 董胜. 基于小波分析的山东寒潮强弱变化特征研究[J]. *自然灾害学报*, 2017, 26(3): 56 - 62.]
- [17] Yan Qi, Tian Li, Li Shuang, et al. Multiple-time scale variations and impact factors of regional cold air in Liaoning Province [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2016, 38(2): 379 - 387. [阎琦, 田莉, 李爽, 等. 辽宁区域性冷空气多时间尺度变化特征及影响因子[J]. *冰川冻土*, 2016, 38(2): 379 - 387.]
- [18] Meng Xiangjun, Wu Zhengfang, Du Haibo, et al. Spatio-temporal characteristics of cold wave over northeast China during 1961 - 2010 [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2013, 27(1): 142 - 147. [孟祥君, 吴正方, 杜海波, 等. 1961 - 2010 年东北地区寒潮活动的时空特征分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2013, 27(1): 142 - 147.]
- [19] Chen Yuying, Chen Nan, Ma Jinren, et al. Variety of Ningxia cold waves in the last 48 years and its possible reasons [J]. *Journal of Natural Resource*, 2010, 25(6): 939 - 951. [陈豫英, 陈楠, 马金仁, 等. 近 48 年宁夏寒潮的变化特征及可能影响的成因初步分析[J]. *自然资源学报*, 2010, 25(6): 939 - 951.]
- [20] Zhang Yanmei, Zhang Puyu, Gu Xin, et al. Analysis of climatic characteristics of cold wave in Guizhou Plateau [J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2010, 31(1): 151 - 154. [张艳梅, 张普宇, 顾欣, 等. 贵州高原寒潮灾害的气候特征分析[J]. *中国农业气象*, 2010, 31(1): 151 - 154.]
- [21] Kang Zhiming, Jin Ronghua, Zhang Weiwei. Characteristic analysis of cold wave in China during the period of 1951 - 2006 [J]. *Plateau Meteorology*, 2010, 29(2): 420 - 428. [康志明, 金荣花, 张玮玮. 1951 - 2006 年期间我国寒潮活动特征分析[J]. *高原气象*, 2010, 29(2): 420 - 428.]
- [22] Mao Weiyi, Chen Ying. Climate characteristics of frequency and intensity of cold wave processes in Urumqi during 1951 - 2015 [J]. *Journal of Arid Meteorology*, 2016, 34(3): 403 - 411. [毛炜峰, 陈颖. 1951 - 2015 年乌鲁木齐市寒潮过程频数及强度气候特征[J]. *干旱气象*, 2016, 34(3): 403 - 411.]
- [23] Gao Zhenrong, Liu Xiaoyun, Tian Qingming, et al. Diagnostic analysis of a strong cold wave process in Hexi Corridor of Gansu Province [J]. *Journal of Arid Meteorology*, 2009, 27(1): 34 - 39. [高振荣, 刘晓云, 田庆明, 等. 甘肃河西地区一次强寒潮天气个例诊断分析[J]. *干旱气象*, 2009, 27(1): 34 - 39.]
- [24] Qian Li, Yang Xiaoling, Yang Yonglong. Contrastive analysis of the causes of severe sandstorm and cold wave weather in the eastern Hexi Corridor between "2000·4·12" and "2001·4·8" [J]. *Qinghai Meteorology*, 2003(2): 8 - 12. [钱莉, 杨晓玲,

- 杨永龙. 河西走廊东部“2000·4·12”与“2001·4·8”强沙尘暴、寒潮天气成因对比分析[J]. 青海气象, 2003(2): 8 - 12.]
- [25] Jia Wenxiong, He Yuanqing, Li Zongxing, et al. Regional characteristics of climatic change trend and break during last 50 years in Hexi Corridor[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2008, 28(4): 525 - 531. [贾文雄, 何元庆, 李宗省, 等. 近50年来河西走廊平原区气候变化的区域特征及突变分析[J]. 地理科学, 2008, 28(4): 525 - 531.]
- [26] Liu Xianfeng, Zhu Xiufang, Pang Yaozhong, et al. The spatial-temporal changes of cold surge in Inner Mongolia during recent 53 years [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(7): 1013 - 1024. [刘宪锋, 朱秀芳, 潘耀忠, 等. 近53年内蒙古寒潮时空变化特征及其影响因素[J]. 地理学报, 2014, 69(7): 1013 - 1024.]
- [27] Meng Xiujing, Zhang Shifeng, Zhang Yongyong. The temporal and spatial change of temperature and precipitation in Hexi Corridor in recent 57 years [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(11): 1482 - 1492. [孟秀敬, 张士锋, 张永勇. 河西走廊57年来气温和降水时空变化特征[J]. 地理学报, 2012, 67(11): 1482 - 1492.]
- [28] Li Chun, Fang Zhifang. Linkage of Arctic Oscillation and winter temperature in northeast China [J]. *Plateau Meteorology*, 2005, 24(6): 927 - 934. [李春, 方之芳. 北极涛动与东北冬季温度的联系[J]. 高原气象, 2005, 24(6): 927 - 934.]
- [29] Qu Jingxuan, Gong Daoyi, Li Sang. The possible influence of Arctic Oscillation on South China Sea climate during boreal spring [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2015, 60(24): 2327 - 2337. [屈静玄, 龚道溢, 李桑. 春季北极涛动对南海气候的影响[J]. 科学通报, 2015, 60(24): 2327 - 2337.]
- [30] Gong Daoyi, Wang Shaowu. Influence of Arctic Oscillation on winter climate over China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(4): 559 - 568. [龚道溢, 王绍武. 近百年北极涛动对中国冬季气候的影响[J]. 地理学报, 2003, 58(4): 559 - 568.]
- [31] Song L, Wu R, Jiao Y, et al. Relative contributions of synoptic and intraseasonal variations to strong cold events over eastern China [J]. *Climate Dynamics*, 2018, 50(11): 4619 - 4634.
- [32] He S, Gao Y, Li F, et al. Impact of Arctic Oscillation on the East Asian climate: A review [J]. *Earth-Science Reviews*, 2017: 48 - 62.
- [33] Zhang Ruonan, Zhang Renhe, Zuo Zhiyan. Winter snow cover variability over China and its relation to Arctic Oscillation [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2015, 39(3): 634 - 642. [张若楠, 张人禾, 左志燕. 中国冬季积雪变异及其与北极涛动的联系[J]. 大气科学, 2015, 39(3): 634 - 642.]

Spatial-temporal variation of cold wave frequency and its influencing factors of circulation in Hexi Corridor during 1961 – 2018

LIU Meijiao¹, LI Ying¹, SUN Meiping²

(1. School of Geography, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China; 2. College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The cold wave is one of the common meteorological disasters in winter, autumn and spring in northern China, and has severely impacted on socioeconomic development and people's lives. The Hexi Corridor is a fragile ecological environment and affected by the cold wave, revealing the characteristics of the spatial and temporal of the cold waves' frequency can provide a reference for disaster prevention and mitigation in agriculture and animal husbandry. In our study, we collected the daily minimum temperature data of 12 meteorological stations in Hexi Corridor from 1961 to 2018, data statistics and spatial visualization methods were used to analyze the spatial-temporal variation characteristics of the cold wave frequency in the Hexi Corridor in recent 60 years, and the response relation between the Arctic Oscillation (AO) anomaly and the cold wave variation was discussed. The results showed that: (1) From the perspective of time series analysis, the cold wave mainly occurred from October to April, of which November, December and April were high frequency of cold wave. The cold wave frequency showed gradual decrease from 1961 to 2018, and a lowest value appeared in the 1980s. From the perspective of seasonal variation, the cold wave frequency is decreasing, the trend was high in autumn, middle in spring, and low in winter. (2) The frequency of cold waves in the Hexi Corridor has obviously spatial differences. The cold wave frequency was high in the western region, while the frequency was low in the central region, and the eastern region was middle level. (3) The conditions of AO has a spatial-temporal response relation with the frequency of the cold wave in the Hexi Corridor. Cold wave was high frequency in all meteorological stations of Hexi Corridor when the AO was negative phase, especially in the eastern and western.

Key words: cold wave; frequency; spatio-temporal characteristics; Arctic Oscillation (AO)

(责任编辑: 周成林; 编辑: 周成林)