

基于最优子集的白银市玉米春霜冻害预报模型研究

夏权 (兰州资源环境职业技术学院, 甘肃兰州 730021)

摘要 在充分考虑玉米关键生育期耐寒程度动态变化的基础上,以最低地温负距平为主要指标划分其冻害等级,分析霜冻形成的物理机制,采用 CSC 双评分准则进行预报因子优选,运用最优子集法分县建立白银市最低地温预报方程,各县区预报方程均通过了 0.01 水平的显著性检验。从预报效果来看,拟合率为 81.8%~87.8%,试报准确率分别为白银 83.3%、景泰 79.6%、靖远 85.7%、会宁 71.4%,结合玉米春霜冻害动态等级指标,实现了对玉米春霜冻害等级的预报预警,达到了预期目标,为开展春玉米关键生育期冻害农业气象服务提供了更为客观准确的信息和依据。

关键词 最优子集;玉米;春霜冻害;预报模型;白银市

中图分类号 S426 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2019)19-0232-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2019.19.066



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Prediction Model of Spring Frost Damage to Corn in Baiyin City Based on Optimal Subset Regression

XIA QUAN (Lanzhou Resources and Environment Voc-tech College, Lanzhou, Gansu 730021)

Abstract On the basis of fully considering the dynamic change of cold tolerance in the key growth period of maize, the lowest temperature anomalies were used as the main indicators to classify the freeze damage level, and the physical mechanism of frost formation was analyzed; the forecast factor were optimized with CSC couple score criterion, the lowest ground temperature forecast equations in Baiyin City were established by optimal subset regression method, and they passed the significant test at 0.01 level. From the forecasting effect, the fitting rate was 81.8%~87.8%, and the accuracy of trial report was 83.3% for Baiyin, 79.6% for Jingtai, 85.7% for Jingyuan, and 71.4% for Huining. Combined with the dynamic grade index of corn spring frost damage, the forecast and warning of corn spring frost damage level was achieved, which achieved the expected goal, and provided more objective and accurate information and basis for agricultural meteorological service of frost damage in the key growth period of corn.

Key words Optimal subset regression; Corn; Spring frost damage; Prediction model; Baiyin City

霜冻,是土壤表面和植物表面的温度下降到 0℃ 或 0℃ 以下,而引起作物损伤乃至死亡的农业气象灾害^[1-2]。白银市位于陇中北部,是霜冻灾害的频发区,特别是春霜冻更是该地区主要的农业气象灾害之一^[3]。春霜冻是指冷季向暖季过渡期间发生的霜冻^[4],此时,正值春玉米关键生长期,作物的抗寒力急剧下降^[5],而冷空气活动频繁,频发的春霜冻灾害会严重影响玉米的品质和产量。准确预报霜冻等级是开展相关农业气象服务和灾害监测预警等工作的基础^[6],为此,不少学者也围绕霜冻的形成机理、气候特征及预报方法进行了大量研究^[7-14],如杨晓玲等^[15]分析了武威市霜冻天气的气候特征,采用最大靠近原则确定了霜冻预报临界值和霜冻预报、预警的级别;付伟辉等^[16]分析了与闽北柑桔冻害有关的气象因子,并给出了用大气环流因子建立的冻害预报方程;陈少勇等^[17]研究表明,春季霜冻发生越晚对农作物的影响越大;支虎明等^[18]、马爱平等^[19]分别探讨了春季低温冻害对特定作物的影响。

以往关于霜冻预报的研究,多是以预报日最低气温或日最低地面温度为基准,建立回归模型,划分最低温度等级,进而预报霜冻强度,虽然具有气象学意义,但并不能反映农作物冻害程度。要切实反映霜冻造成的农业灾害程度,既要考虑霜冻强度,也要考虑农作物不同生育期的耐寒程度。为此,笔者采用最优子集法挑选出相关性较高的气象要素作为预报因子,建立日最低地面气温多元回归预报模型,再结合

玉米生长期春霜冻害动态指标,确定春霜冻害等级,从而实现白银市玉米春霜冻害等级的预报预警,为科学指导玉米生产、开展春玉米关键生育期冻害农业气象服务提供更为客观准确的信息和依据。

1 资料与方法

1.1 资料选取 所用资料包括 2000—2018 年春玉米生育期观测资料;白银市各县区近 30 年逐日气象要素观测资料;2000—2018 年白银市农作物春霜冻害灾情资料。

1.2 玉米春霜冻害指标 将春玉米历史生育期资料和逐日地温资料相结合,计算出逐日适宜最低地温,再根据霜冻日所在生育期的天数,确定该日的适宜最低地温,进而计算出霜冻日最低地温负距平。这样作物春霜冻害指标的确定就成为动态变化过程,可以反映出前后期基础温度以及作物耐寒程度不同而造成霜冻危害程度的不同^[20]。

最低地温负距平计算式为:

$$\Delta T = T'_{\min} - T_0$$

式中, ΔT 为霜冻日最低地温负距平, T'_{\min} 为该日最低地温, T_0 为该日适宜最低地温。 ΔT 可以很好地反映玉米春霜冻害程度, ΔT 值越小,说明冻害越强。逐日适宜最低地温体现了生育期内作物耐寒程度的动态变化,指标综合考虑了玉米关键生育期耐寒程度和霜冻强度的协同作用。

2 预报量与预报因子的相关性分析

造成春季降温的主要因素是较强的冷平流和地面辐射降温,根据热力学定律,考虑了影响局地温度变化的温度平流项、垂直运动项和非绝热变化项,结合天气预报工作实际,选取 18 个预报因子,即霜冻日前 1 d 08:00、14:00 和 20:00 的温度、本站气压、水汽压、相对湿度、风速、总云量。采用

基金项目 白银市科技计划项目(2015-2-30R);甘肃省气象局青年优秀科技人才专项(2016-10)。

作者简介 夏权(1983—),男,甘肃兰州人,高级工程师,硕士,从事极端天气与灾害气象研究。

收稿日期 2019-05-06

2005—2017 年历史气象资料,挑选出白银市各站点(白银、景泰、靖远、会宁)研究时段历史霜冻日,各站样本数分别为白银 55、景泰 38、靖远 54、会宁 49。以能直接反映霜冻强度的霜冻日地面最低温度为预报量,采用统计学方法计算各因子与预报量之间的相关性。

从表 1 可以看出,白银市霜冻日地面最低温度与前 1 d 各时次气温有很高的正相关系数,特别是西北部的景泰、白银均通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验,说明受冷空气影响

较早的区域,前 1 d 降温对次日出现霜冻有较好的指示意义;靖远相关性也较高;会宁受冷空气影响较晚,相关系数略偏低,但前 1 d 14:00 也通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验。一般 14:00 气温接近日最高气温,而冷空气入侵会使日最高气温明显下降,从表 1 也能看出霜冻前 1 d 14:00 气温与次日最低地面温度相关性最高,可将前 1 d 14:00 气温作为重点关注预报因子。

表 1 白银市霜冻日地面最低温度与前 1 d 气温、本地气压、水汽压、相对湿度、风速和总云量的相关性分析

Table 1 Correlation analysis between the minimum ground temperature and the previous day's temperature, local pressure, water vapor pressure, relative humidity, wind speed and total cloud amount on the frosty day of Baiyin City

地点 Site	时刻 Time	气温 Temperature	本地气压 Local pressure	水汽压 Water vapor pressure	相对湿度 Relative humidity	风速 Wind speed	总云量 Total cloud amount
白银 Baiyin	08:00	0.63**	-0.20	0.43**	0.08	-0.03	-0.04
	14:00	0.47**	-0.25*	0.40**	-0.26*	-0.05	-0.22*
	20:00	0.50**	-0.27*	0.32**	-0.03	-0.03	0.05
景泰 Jingtai	08:00	0.65**	-0.24	0.33*	-0.06	-0.18	-0.26
	14:00	0.70**	-0.31*	0.23	-0.32*	0.10	-0.41**
	20:00	0.68**	-0.40**	0.22	-0.19	0.01	-0.11
靖远 Jingyuan	08:00	0.23	-0.28*	0.57**	0.28*	0.13	-0.07
	14:00	0.47**	-0.32*	0.56**	0.10	0.09	-0.15
	20:00	0.29*	-0.35**	0.50**	0.16	0.18	0.20
会宁 Huining	08:00	0.22	-0.28*	0.45**	0.18	-0.10	-0.13
	14:00	0.42**	-0.25	0.43**	0.09	-0.10	0.01
	20:00	0.21	-0.24	0.47**	0.16	0.29*	0.17

注: *、** 分别表示通过了 $\alpha=0.05$ 、 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验

Note: *, ** respectively indicate that the significance level test passed $\alpha=0.05$, $\alpha=0.01$

霜冻日地面最低温度与前 1 d 时次本站气压均呈负相关关系,即前 1 d 本站气压升高越明显,冷空气越强,次日地温越低;前 1 d 各时次负相关系数均比较显著,除景泰前 1 d 08:00 未通过显著检验外,其余相关性均比较高,其中景泰和靖远前 1 d 20:00 通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验。

霜冻日地面最低温度与前 1 d 水汽压有较高的正相关性。其中,白银、靖远、会宁各时次相关系数均通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验;景泰 08:00 也有较高的显著性水平,通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验,14:00 和 20:00 相关性较差,未通过显著性检验。

霜冻日地面最低温度与前 1 d 各时次相对湿度相关性较差,白银和景泰呈负相关(除白银 08:00),靖远和会宁呈正相关,仅白银 14:00、景泰 14:00 和靖远 08:00 通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验,其余均未通过显著性检验。

前 1 d 风速与霜冻日地面最低温度的相关性并不显著,除会宁前 1 d 20:00 风速相关性较高以外,其余各站各时次均未通过显著性检验,可能是因为整点风速是非连续性变量,有一定随机性,所以没有连续性变量稳定的缘故。

霜冻日地面最低温度与前 1 d 各时次总云量以负相关为主,也就是说前 1 d 云量多,次日地面最低温度越低。但仅白银、景泰相关性比较显著,白银和景泰前 1 d 14:00 分别通过了 $\alpha=0.05$ 和 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验。

3 地面最低温度预报方程

3.1 地面最低温度预报方程的建立 根据以上分析,对预报因子进行初选,初选条件为:预报因子与预报对象间的相

关系数通过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验。对于初选后的因子,再利用逐步回归法做精选,最后确立最优子集回归的备选因子分别为前 1 d 08:00 气温(x_1)、前 1 d 14:00 气温(x_2)、前 1 d 20:00 气温(x_3)、前 1 d 08:00 气压(x_4)、前 1 d 14:00 气压(x_5)、前 1 d 20:00 气压(x_6)、前 1 d 08:00 水汽压(x_7)、前 1 d 14:00 水汽压(x_8)、前 1 d 20:00 水汽压(x_9)、前 1 d 08:00 相对湿度(x_{10})、前 1 d 14:00 相对湿度(x_{11})、前 1 d 20:00 风速(x_{12})、前 1 d 14:00 总云量(x_{13})。

将精选出的 13 个备选因子运用最优子集法进行优选。若共有 m 个因子,会得到 2^m-1 个回归方程,再优选出评分最大的预报方程,优选方法采用 CSC 双评分准则。最终,分县建立白银市春季地面最低温度预报方程(表 2),并对预报方程参数进行显著性检验(表 3)。

表 2 地面最低温度预报方程

Table 2 Prediction equations for the ground lowest temperature

序号 No.	站点 Station	预报方程 Prediction equations
1	白银	$y = -10.1105 + 0.3984x_1 + 0.0845x_{11}$
2	景泰	$y = -51.1505 + 0.4426x_2 + 0.0498x_6 - 0.2109x_7 + 0.0558x_{11} + 0.1084x_{13}$
3	靖远	$y = -6.978 + 0.1199x_2 + 0.7623x_8$
4	会宁	$y = -4.4067 + 0.076x_2 + 0.5187x_8 - 0.0234x_{12}$

3.2 预报方程回代检验及误差分析 对所建立的白银市四县站地面最低温度预报方程,利用各站 2000—2015 年春霜冻害关键期(4 月 10 日—5 月 31 日)霜冻日资料进行回代检验,检验结果如 4 所示。从表 4 可以看出,各站预报准确率

表3 地面最低温度预报方程显著性检验参数

Table 3 Significant test parameters of the ground lowest temperature prediction equation

站点 Station	样本数 Sample number	因子数 Factor number	CSC 双评分 CSC double score	复相关 系数(R) Complex correlation coefficient(R)	F 值 F value
白银 Baiyin	55	2	40.19	0.70	25.37
景泰 Jingtai	38	5	35.76	0.78	9.76
靖远 Jingyuan	54	2	44.89	0.71	23.94
会宁 Huining	49	3	35.65	0.57	7.10

都比较高,拟合率在 81.8%~87.8%;空报率不超过 12.7%,其中,靖远空报率仅为 1.9%;漏报率只有靖远较高,为 14.8%,其余 3 站都较低,会宁仅 2.0%。霜冻预报方程于 2017 年 4 月投入业务运行,对 2017—2018 年春霜冻害关键期(4 月 10 日—5 月 31 日)的试报情况进行效果检验。各站

霜冻方程试报结果都比较理想,准确率在 71.4%~85.7%,高于预报员平均主观预报水平,可以投入业务运行。

绝对误差是霜冻日地面最低温度实际值与预报值之差,反映预报值相对于实际值的偏离程度,也可反映两者之间的线性关系。从白银市霜冻预报方程绝对误差与实际值散点图(图 1)可以看出,各站预报方程的绝对误差值主要集中在 $-2\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,说明预报值接近实况值,预报方程的可靠性比较高。绝对误差与实际低温相关性较高,白银、景泰、靖远和会宁相关系数分别为 0.717、0.629、0.738、0.824,通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验。各站线性曲线均为明显下降趋势,白银、景泰、靖远和会宁的倾向率分别为 -0.563 、 -0.396 、 -0.532 、 $-0.691\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$,说明实际温度越低正误差越大,实际温度越高负误差越大,方程对强低温霜冻的预报要比实际情况偏弱,负倾向率绝对值越大这种趋势越显著。

表4 霜冻预报方程回代检验

Table 4 Back-test of frost forecast equation

站点 Station	正确次数 Correct number	空报次数 Number of empty reports	漏报次数 Number of missed reports	拟合率 Fitting rate//%	空报率 Empty report rate//%	漏报率 Missing report rate//%
白银 Baiyin	45	7	3	81.8	12.7	5.5
景泰 Jingtai	33	3	2	86.8	7.9	5.3
靖远 Jingyuan	45	1	8	83.3	1.9	14.8
会宁 Huining	43	5	1	87.8	10.2	2.0

注:拟合率=正确次数/(空报次数+漏报次数+正确次数) $\times 100\%$ 、空报率=空报次数/(空报次数+漏报次数+正确次数) $\times 100\%$ 、漏报率=漏报次数/(空报次数+漏报次数+正确次数) $\times 100\%$

Note:Fitting rate = correct number / (number of empty reports+number of missed reports+correct number) $\times 100\%$; empty report rate = number of empty reports / (number of empty reports+number of missed reports+correct number) $\times 100\%$; missing report rate = number of missed reports / (number of empty reports+number of missed reports+correct number) $\times 100\%$

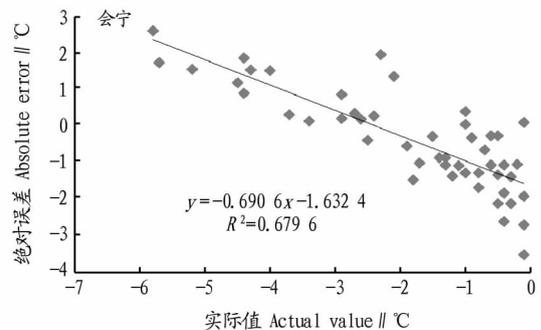
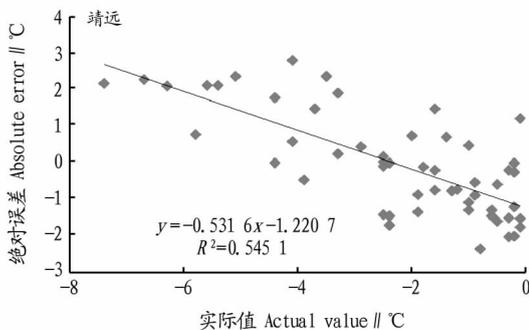
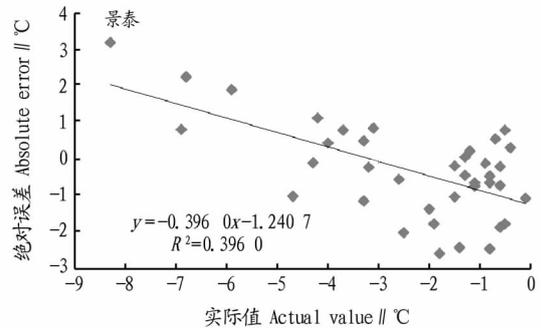
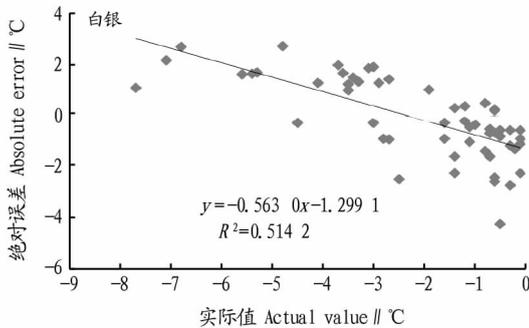


图1 银市各站霜冻预报方程绝对误差与实际值散点图

Fig. 1 Scatter plot of absolute error and actual value of frost forecast equations of each stations in Baiyin City

3.3 玉米春霜冻害等级的预报预警 对白银市 4 个县运用最优子集回归方程求得次日地面最低温度,根据“1.2”玉米春霜冻害指标计算该日最低地温负距平 ΔT ,再结合玉米历

年灾情资料及温度实况,定义: $-3\text{ }^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为玉米弱霜冻害, $-7\text{ }^{\circ}\text{C} < \Delta T \leq -3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为玉米中霜冻害, $\Delta T \leq -7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为玉米强霜冻害。按照冻害不同等级采取相应的农业气象服务方式。

4 小结

(1) 从各因子与预报值之间的相关性来看, 白银市霜冻日地面最低温度与前 1 d 各时次气温有很高的正相关系数, 尤其是景泰和白银; 本站气压均呈明显的负相关, 即前 1 d 本站气压升高越明显, 冷空气越强, 次日地温越低; 水汽压也呈较高的正相关, 特别是会宁; 相对湿度相关性较差, 白银和景泰呈负相关 (除白银 08:00), 靖远和会宁呈正相关; 各时次总云量以负相关为主, 但仅白银、景泰相关性比较显著; 风速与霜冻日地面最低温度的相关性并不显著。

(2) 以春玉米春霜冻害等级指标为基础, 分站建立了景泰、白银、靖远、会宁地面最低温度与其前 1 d 相关要素间的预报方程, 各站方程拟合率均在 80% 以上; 试报结果的标准率分别为白银 83.3%、景泰 79.6%、靖远 85.7%、会宁 71.4%, 高于预报员平均主观预报水平, 达到了预期目标。

(3) 该研究建立的春霜冻害模型充分考虑了玉米关键生育期耐寒程度和霜冻强度的协同作用, 采用最优子集法挑选出相关性较高的气象要素作为预报因子, 建立日最低地面气温多元回归预报模型, 再结合玉米生长期春霜冻害动态指标, 确定春霜冻害等级, 进而实现白银市玉米春霜冻害等级的预报预警, 该方法亦可推广至其他作物。

参考文献

- [1] 《大气科学辞典》编委会. 大气科学辞典[M]. 北京: 气象出版社, 1994: 576-576.
- [2] 陈少勇, 夏权, 王劲松, 等. 西北地区晚霜冻结束日的气候变化特征及

- 其影响因素[J]. 中国农业气象, 2013, 34(1): 8-13.
- [3] 王生林, 余优森. 甘肃农业霜冻灾害及其防御对策研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2001, 36(2): 226-231.
- [4] 段岩溪, 姜会飞. 农业气象学[M]. 北京: 气象出版社, 2002.
- [5] 夏权, 吴芳蓉, 康景芬, 等. 白银市玉米春霜冻害精细化风险评估[J]. 中国农学通报, 2018, 34(6): 97-103.
- [6] 李树岩, 彭记永, 刘荣花. 基于气候适宜度的河南夏玉米发育期预报模型[J]. 中国农业气象, 2013, 34(5): 576-581.
- [7] 陈百炼. 降水温度分县客观预报方法研究[J]. 气象, 2003, 29(8): 48-51.
- [8] 郭小芹, 钱莉. 河西走廊东部一次霜冻成因分析[J]. 气象科技, 2018, 46(2): 369-373.
- [9] 陈少勇, 郑延祥, 楼望萍, 等. 中国西北地区初霜冻的气候变化特征[J]. 资源科学, 2013, 35(1): 165-172.
- [10] 王静, 张晓煜, 杨洋, 等. 宁夏梨树霜冻指标试验研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(28): 122-127.
- [11] 马柱国. 中国北方地区霜冻日的变化与区域增暖相互关系[J]. 地理学报, 2003, 58(51): 31-37.
- [12] 贺红梅, 夏权. 白银市春霜冻害对玉米生长的影响及防御措施[J]. 农业灾害研究, 2016, 6(9): 33-36.
- [13] 张磊, 杨洋, 张晓煜, 等. 近 50 年宁夏霜冻日数基本特征及变化趋势[J]. 中国农学通报, 2015, 31(5): 214-219.
- [14] 王莹. 江苏省冬小麦春霜冻的发生规律及预报预警研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2012: 1-3.
- [15] 杨晓玲, 郭丽梅, 丁文魁. 武威市霜冻气候特征及预报[J]. 中国农业气象, 2010, 31(4): 612-616.
- [16] 付伟辉, 杨善恭. 闽北柑桔冻害和冻害指标的预报[J]. 气象, 1993, 19(4): 42-43.
- [17] 陈少勇, 孙秉强. 白银市霜冻气候变化及对农业生产的影响[J]. 甘肃科学学报, 2006, 18(4): 46-49.
- [18] 支虎明, 郑宏鹏, 刘福新. 春季低温冻害对核桃相关性状变异系数的影响[J]. 农学学报, 2014, 4(11): 73-76.
- [19] 马爱平, 亢秀丽, 靖华, 等. 春季低温冻害下不同栽培因子对小麦产量的影响[J]. 农学学报, 2011, 1(5): 13-17.
- [20] 夏权, 孙喆, 吴芳蓉, 等. 陇中地区玉米春霜冻害等级指标研究[J]. 中国农学通报, 2016, 32(31): 167-171.

(上接第 231 页)

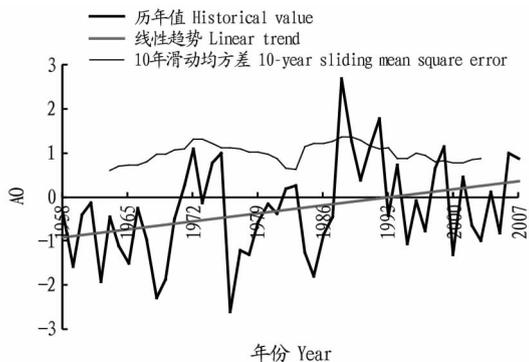


图 7 1958—2007 年冬季 AO 平均、10 年滑动均方差和线性趋势

Fig. 7 The average, 10-year sliding mean square error and linear trend of AO in Winter from 1958 to 2007

趋势, 结果表明, 1958—2007 年冬季 AO 是一个随时间增长的趋势。就温度场来看, 850、500 和 200 hPa 1958—2007 年冬季后 25 年温度场与前 25 年平均温度场的差值图显示, 温带大陆是升温趋势。通过分析 3 个高度上 AO 与温度场相关系数年代际变化, 北极涛动与温度场正相关区域面积增大、相关性增强, 主要集中地区为温带大陆, 其他负相关地区面积也增大, 相关性增强, 所以 AO 与冬季温度场相关性增强。就风场而言, 北极涛动与风场的相关性存在年代际变化, 后 25 年相关性明显强于前 25 年, 说明北极涛动对风场的影响越来越大。

该研究初步从 AO 与冬季温度场和风场相关性方面进行了研究, 然而冬季温度场、风场变化的原因是非常复杂的, 尚需进一步研究。

参考文献

- [1] 朱毓颖. 中国冬季持续性低温事件的特征及其与大气低频振荡的联系[D]. 南京: 南京大学, 201.
- [2] 李彩玲, 余广昌, 王华. 北极涛动对华南地区寒潮的影响[J]. 广东气象, 2016, 38(3): 12-16.
- [3] 王玉虹, 智协飞, 朱寿鹏, 等. 气候变暖前后我国热度日和冷度日的特征分析[J]. 气象科技, 2016, 44(6): 956-964.
- [4] 胡森, 龚道溢, 王璐, 等. 1-3 月北极涛动对北半球热带太平洋和大西洋对流活动的可能影响[J]. 气象学报, 2012, 70(3): 408-491.
- [5] 龚道溢. 北极涛动对东亚夏季降水的预测意义[J]. 气象, 2003, 29(6): 3-6.
- [6] 程炳岩, 孙卫国, 王记芳, 等. 北极涛动对河南省降水的可能影响[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(4): 7-12.
- [7] 李春, 罗德海, 方之芳, 等. 北极涛动年代际变化与华北夏季降水的联系[J]. 南京气象学院学报, 2005, 28(6): 755-762.
- [8] 所玲玲, 黄嘉佑, 谭本旭. 北极涛动对我国冬季同期极端气温的影响研究[J]. 热带气象学报, 2008, 24(2): 163-168.
- [9] 琚建华, 任菊章, 吕俊梅. 北极涛动年代际变化对东亚北部冬季气温增暖的影响[J]. 高原气象, 2004, 23(4): 429-434.
- [10] 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.
- [11] 何春, 何金海. 冬季北极涛动和北半球冬季气温变化关系研究[J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(1): 1-7.
- [12] 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): 559-567.
- [13] 泽仁玉珍, 李白萍, 曲扎江措, 等. 近 40 年昌都丁青大风气候特征分析[J]. 西藏科技, 2010(9): 55-56.
- [14] 丁峰, 王则玉, 唐亚莉, 等. 吉尔吉斯斯坦气候变化特征及其空间变异分析[J]. 新疆农业科学, 2017, 54(9): 1746-1755.
- [15] 黄秋霞, 何清, 玉努斯, 等. 哈萨克斯坦共和国不同区域降水的变化特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2014, 8(4): 61-68.