

近 55 年吉林省霜期的气候变化特征

许 晖¹, 王丽伟¹, 徐 昕¹, 庞培林²

(1. 吉林省气象信息网络中心, 长春 130062; 2. 吉林市气象局, 吉林 吉林 132000)

摘要:利用 1961~2015 年吉林省均匀分布的 46 个气象站的逐日霜观测资料, 采用 M-K 突变分析以及气候倾向率等方法对全省初霜日、终霜日和无霜期的气候变化特征进行分析。结果表明, 全省平均初霜日为 9 月 25 日, 终霜日为 5 月 8 日, 无霜期为 139 天。全省及各区域平均初霜日呈推迟趋势、终霜日呈提前趋势、无霜期呈延长趋势, 且几乎通过了 0.01 水平的显著性检验。其中初霜日东部最早、西部最晚, 终霜日东部最晚、西部最早, 由此导致无霜期呈由东南向西北逐渐递增的变化规律。全省平均初霜日和终霜日分别在 1973 年和 1993 年发生气候突变。从逐站点变化情况看, 全省半数以上站点的初霜日的推迟趋势、终霜日的提前趋势和无霜期的延长趋势均通过了 0.05 水平显著性检验。

关键词:吉林省; 初霜日; 终霜日; 无霜期

中图分类号: S162; P423.4

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2020)02-0083-04

Climatic Characteristics of the Frost Season Variation during the Last 55 Years in Jilin Province

XU Hui¹, WANG Liwei¹, XU Xin¹, PANG Peilin²

(1. *Jilin Meteorological Information Network Center, Changchun 130062; 2. Jilin Meteorological Bureau, Jilin 132000, China*)

Abstract: Based on the daily frost data of 46 meteorological observation stations in Jilin Province from 1961 to 2015, the climatic change characteristics of the first frost day, the last frost day and the frost-free period in Jilin Province were analyzed by means of M-K mutation analysis and climatic tendency rate. The results showed that the average first frost day was September 25, the last frost day was May 8, and the frost-free period was 139 days. The average first frost day of the province and each region showed a trend of postponing, the average last frost day showed a trend of advancing, and the average frost-free period showed a trend of prolonging, which almost passed the significance test of 0.01 level. Among them, the first frost day is the earliest in the east, the last in the west, the last frost day is the last in the east and the earliest in the west, which leads to the gradual increase of frost-free period from southeast to northwest. The average first frost day and the last frost day occurred abruptly in 1973 and 1993 respectively. More than half of the stations in Jilin Province passed the 0.05 level significance test in the trend of delaying the first frost day, advancing the last frost day and prolonging the frost free period.

Key words: Jilin Province; First frost date; Last frost date; Frost-free period

IPCC 第五次评估报告^[1]指出, 1880~2012 年全球海陆表面平均温度呈线性上升趋势, 以变暖为主要特征的全球气候变化是一个不争的事实^[2-3], 其不仅直接影响大气环流, 导致气候异常, 同时在一定程度上可能对初、终霜日的早晚和无霜期的长短产生影响^[4-5]。由初、终霜日决定的无霜期作为广泛用于衡量地区农业热量的重要指标

之一^[6-9], 其变化直接影响一个地区的农业产业布局、农作物种类以及对作物品种、熟型等的选择^[10-11]。近年来国内外学者对初、终霜日及无霜期进行了大量的研究, 结果表明, 随着全球气候变暖, 美国的初霜日推后, 终霜日提前, 无霜期延长, 在 20 世纪美国西部无霜期延长比东部更明显^[12-13], 德国^[14]、奥地利^[15]、加拿大阿尔伯达省全境^[16]等国家和地区无霜期都在延长。宁晓菊等^[17]对 1951 年以来中国无霜期的变化趋势研究表明, 中国 80% 以上区域呈现初霜日推后、终霜日提前和无霜期延长的趋势, 中国过半区域无霜期在 20

收稿日期: 2018-12-10

基金项目: 吉林省气象局青年基金(2015027)

作者简介: 许 晖(1985-), 女, 工程师, 硕士, 主要从事气象数据研究工作。

世纪80年代和90年代(1980s和1990s,下同)发生突变。许艳等^[18]研究表明,在全球增暖的背景下,近50年来,中国大部分地区霜期在逐渐缩短,初霜日在逐渐推迟,终霜日在不断提前,20世纪90年代后这种趋势变得更加明显。许多学者对中国不同地区的初、终霜日和无霜期的变化特征做了研究,结果表明,山西全省平均初霜日呈显著的推后,无霜期呈显著的延长趋势^[19];陕西全省平均初霜日每10年推迟1.4天,平均终霜日每10年推迟1.7天,平均无霜期每10年延长3.1天^[20];河南全省平均初霜期以2.6天/10年的速率明显推迟,无霜期以4.7天/10年的速率明显延长^[21]。

吉林省位于中国东北中部,属于温带大陆性季风气候,省内几乎所有的粮食作物、经济作物都是在无霜期内生长^[22-23],因此分析气候变暖背景下吉林省近几十年的初、终霜日及无霜期的变化特征具有重大意义,为合理指导农业生产提供重要技术依据。

1 资料和方法

1.1 资料

利用吉林省1961~2015年46个自动气象站的逐日最低气温($^{\circ}\text{C}$),以秋、冬季日最低气温 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ 的初日作为初霜日,春季日最低气温 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ 的终日作为终霜日,全年终霜后至初霜前的一整段时间为无霜期。初霜日和终霜日均以1月1日为第1日,12月31日为第365(或366)日,依次作为初霜日和终霜日的日序列。通过几何平均法分别求算吉林省全省、东部、中部、西部平均初霜日、终霜日和无霜期。

1.2 方法

采用气候倾向率估计法和皮尔森相关分析研

究初、终霜日和无霜期的时空变化特征,并进行显著性检验。采用曼-肯德尔法分析吉林省初、终霜日和无霜期的突变特征;采用地理信息系统软件(ArcGis)对平均初、终霜日和无霜期及其变化率进行空间插值表达。

2 结果与分析

2.1 初、终霜日及无霜期空间分布

吉林省初霜日的空间分布具有明显的区域差异,初霜日从安图开始,总体上呈从东南向西北逐渐增加的变化特征。全省初霜日多出现在9月中旬到10月上旬(表1),平均初霜日为9月25日(第268天)。在东部地区出现较早,平均为9月23日(第266天);中部为9月27日(第270天);西部最晚,平均为9月29日(第272天)。初霜日最早为二道和靖宇,平均为9月15日(第258天);最晚为集安,平均为10月3日(第276天)。

终霜日从安图开始,总体上呈从东南向西北逐渐减少的变化特征。吉林省各地平均终霜日多出现在5月上旬至中旬(表1),全省平均终霜日为5月8日(第128天)。终霜日在东部地区出现最晚,平均在5月12日(第132天);在中部为5月5日(第125天);西部出现最早,一般出现在5月3日(第123天)左右。终霜日最早为松原、四平 and 集安,平均为4月30日(第120天);最晚为靖宇,平均为5月24日(第144天)。

初霜日和终霜日的综合变化导致无霜期总体上呈从东南向西北延长的变化规律。全省平均无霜期为139天,其中东部平均无霜期为133天,中部为144天,西部为147天。无霜期最长为集安,平均154天,最短为靖宇,平均112天(表1)。

表1 1961~2015年初、终霜日及无霜期的区域平均值

	初霜日(月-日)			终霜日(月-日)			无霜期(天)		
	平均	最早	最晚	平均	最早	最晚	平均	最短	最长
全省	9-25	9-15	10-3	5-8	4-30	5-24	139	112	154
东部	9-23	9-15	9-29	5-12	5-1	5-24	133	112	154
中部	9-27	9-20	10-1	5-5	4-30	5-12	144	129	152
西部	9-29	9-24	10-2	5-3	4-30	5-7	147	139	153

2.2 初、终霜日及无霜期时间变化特征

2.2.1 初霜日

从吉林省近55年来区域平均初霜日的年际变化看,虽然存在一定波动幅度,但总体上均呈推迟趋势,各年均呈东部初霜日最早,西部初霜

日最晚。全省、东部、中部和西部平均每10年分别推迟1.30天、1.45天、0.91天和1.39天,且除中部的推迟趋势较小,其它区域及全省均通过了0.01水平的显著性检验。从各站点近55年来初霜日的年际变化看,除了农安和榆树外,其他各

站均呈推迟趋势,平均每 10 年推迟天数在 0.26~2.8 天之间,德惠最少,通化最多。其中有 29 个站点的推迟趋势通过了 0.05 水平及以上显著性检验。

从吉林省近 55 年来区域平均初霜日的年代

际变化来看(图 1a),总体上随年代呈推迟趋势,但是 20 世纪 80 年代存在一个初霜日的低谷值,即初霜日偏早,另外 2011~2015 年平均初霜日相比前一年代也呈现下降趋势。从区域分布情况看,基本上满足东部初霜日最早,西部初霜日最晚。

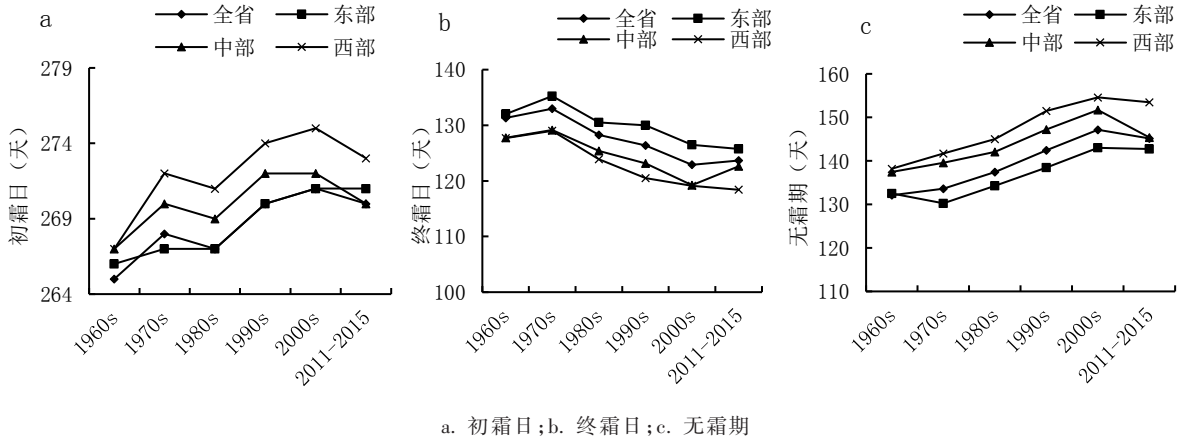


图 1 初、终霜日及无霜期年代际变化特征

2.2.2 终霜日

1961~2015 年吉林省区域平均终霜日总体上呈提前趋势,且东部终霜日最晚,西部终霜日最早。全省、东部、中部和西部平均每 10 年平均终霜日分别提前 2.13 天、2.19 天、1.90 天和 2.40 天,且均通过了 0.01 水平的显著性检验。从 1961~2015 年吉林省各站点终霜日的年际变化看,除农安外,其他站点均呈提前趋势,平均每 10 年提前 1.08~3.43 天,有 43 个站点的提前趋势均通过 0.05 水平及以上显著性检验。

吉林省近 55 年区域平均终霜日的年代际变化总体上呈提前趋势(图 1b),但终霜日在 20 世纪 70 年代偏晚。中部地区在 2011~2015 年平均终霜日比上一个年代偏晚。从区域分布看,东部终霜日最晚,西部终霜日最早。

2.2.3 无霜期

近 55 年来,随着初霜日的推迟和终霜日的提前,导致无霜期呈显著的延长趋势,全省、东部、中部和西部平均无霜期平均每 10 年延长 3.43 天、3.64、2.81 和 3.82 天,且均通过了 0.01 水平的显著性检验。从 1961~2015 年吉林省各站点无霜期的年际变化看,只有农安的无霜期呈微弱的缩短趋势,其他各站均呈延长趋势,平均每 10 年延长 0.95~6.07 天,全省共 41 个站点的无霜期延长趋势均通过了 0.05 及以上水平的显著性检验。

从吉林省近 55 年来平均无霜期的年代际变化来看(图 1c),2001~2010 年以前,除了东部地区

在 20 世纪 70 年代平均无霜期相比 20 世纪 60 年代略短,平均无霜期基本上均呈随着年代而延长。2011~2015 年平均无霜期又出现一个缩短的趋势,尤其是中部地区比较明显。通过对全省单站逐年代平均无霜期的时空变化分析可以看到,20 世纪 60 年代共有 12 个站点的平均无霜期在 140 天以上,7 个站点的无霜期不足 120 天;随着年代的推进,无霜期在 140 天以上的面积向东南和西北方向逐渐扩大,无霜期不足 120 天的面积以靖宇为中心逐渐缩小;2001~2010 年无霜期在 140 天以上的站点数达到 37 个,而不足 120 天的站点数仅剩 1 个;2011~2015 年农安、榆树、烟筒山、辽源等四个站点的无霜期又缩短为不足 140 天。总体上,随年代的变化无霜期延长。

2.2.4 全省平均值的突变特征

利用曼-肯德尔法(M-K 检验),给定显著性水平 $\alpha=0.05$,临界值 $U_{0.05}=\pm 1.96$,UF、UB 分别为按时间顺序正序(1961~2015 年)、逆序(2015~1961 年)的两条统计量序列曲线,当 UF、UB 的值大于 0 时,则表明序列呈上升趋势,小于 0 则为下降趋势,当曲线超过临界点时,则表明上升或下降的趋势显著,两条曲线在临界线之间的交点对应的时刻为突变发生的时间,绘制全省平均初、终霜日和无霜期的 M-K 突变特征曲线如图 2 所示,全省平均初霜日在 1970 年以前,只有 1963 年呈推迟(增加)趋势,其他均呈提前(减小)趋势,从 1971 年开始持续推迟,到 1975、1976 年推迟趋势达到

显著,1973年出现推迟幅度增大的气候突变。全省平均终霜日在1965年以前呈推迟趋势,之后出现提前、推迟两次反复波动,从1982年开始持续提前,到1997年出现持续显著提前趋势,其间在1993年前后出现提前幅度增大的气候突变。全

省平均无霜期在1973年以前,除了1971年呈延长趋势,其他均呈缩短趋势,从1974年开始持续延长,1984、1986年延长趋势达到两次显著,之后从1990年开始出现持续显著延长趋势。

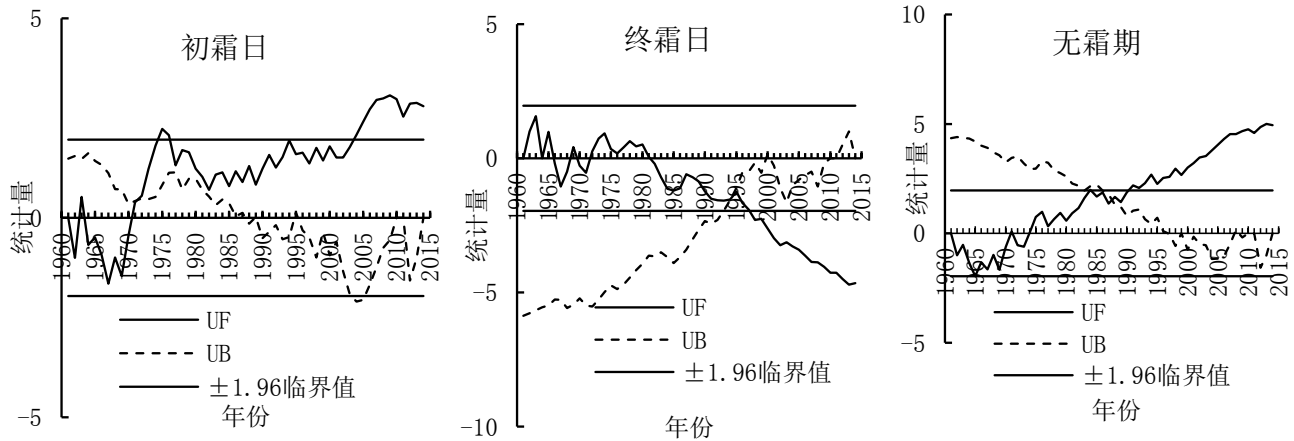


图2 1961~2015年全省平均值的M-K突变特征

3 结论与讨论

(1)1961~2015年,吉林省无霜期整体呈显著的延长趋势。其中初霜日呈推迟趋势,平均每10年推迟1.30天,29个站通过了0.05水平的显著性检验;终霜日呈提前趋势,平均每10年提前2.13天,43个站点通过了0.05水平的显著性检验;在两者的共同影响下,无霜期平均每10年延长3.43天,41个站点通过了0.05水平的显著性检验。

(2)无霜期的延长趋势是稳定的。从年际变化和突变特征上来看,吉林省初霜日推迟、终霜日提前以及无霜期延长的趋势非常稳定,只有少数年份或年代呈反向变化,实际应用中可以将无霜期不断延长作为结论,用以辅助判断农业活动的的时间和作物种类。

(3)吉林省的作物种植制度为一年一熟,无霜期延长即延长了作物生长季,对于春播和秋收有利,为玉米、水稻等主要作物品种的选择提供了更大的空间。随着无霜期的延长,吉林省农作物品种选育、发展趋势可以做相应的调整,传统的中晚熟区(如白城、松原、长春等)面积可以进行扩大,早熟区(如通化、白山)面积可以相应缩小,以增加粮食产量。四密21、吉单209等传统晚熟品种以及新培育的晚熟品种可以在更大面积上进行试种和推广。

(4)还应结合其他气候要素综合判断农业活动时间和作物品种,如积温、降水量等;对于初

霜、终霜、无霜期的判断也应结合实时资料以及气候预测,对未来发展变化趋势进行滚动的评估,这将是下一步的工作重点。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2013: the physical science basis[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013: 1-61.
- [2] 李萌,申双和,褚荣浩,等.近30年中国农业气候资源分布及其变化趋势分析[J].科学技术与工程,2016,16(21): 1-11.
- [3] 钟飞,景元书.吉安市双季早稻气候适宜度变化特征及评价分析[J].科学技术与工程,2014,14(6):93-96.
- [4] Meehl G A, Tebaldi C, Nychka D. Changes in frost days in simulations of twenty first century climate[J].Climate Dynamics, 2004, 23: 495-511.
- [5] 潘淑坤,张明军,汪宝龙,等.1960-2011年新疆初终霜日及无霜期的变化特征[J].干旱区研究,2013,30(4):735-742.
- [6] 李想,陈丽娟,张培群.1954-2005年长江以北地区初霜期变化趋势[J].气候变化研究进展,2008,4(1):21-25.
- [7] 曹占洲,毛炜峰,李迎春.近49年新疆棉区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 终日 and 初霜期的变化及对棉花生长的影响[J].中国农学通报,2011, 27(8): 355-361.
- [8] 张玉书,班显秀,纪瑞鹏,等.辽宁省气候资源分析[J].气象科技,2004,32(1):39-42.
- [9] 钟仕全,陈燕丽,刘吉凯,等.基于多源遥感数据的甘蔗霜冻监测评估方法[J].科学技术与工程,2018,18(9):189-193.
- [10] 蔡福,明惠青,纪瑞鹏,等.辽宁地区近50年无霜期时空演变特征[J].中国农业气象,2010,31(2):188-193.
- [11] 胡琦,潘学标,张丹,等.东北地区不同时间尺度下气温和无霜期的变化特征[J].中国农业气象,2015,36(1): 1-8.

(下转第90页)

高。DON未超出限量标准(1 000μg/kg),ZEN未超出限量标准(60μg/kg)^[16-17]。

通过生物毒素含量分析,白麦、内麦19、龙春33、新春35和2038这5个品种耐生物毒素污染优于其他品种。

3 结 论

3.1 品种间物理特性参数和营养品质存在显著差异($P<0.05$);部分品种检出生物毒素,主要集中在脱氧雪腐镰刀菌烯醇(DON)和玉米赤霉烯酮(ZEN),但均未超出国家限量标准,表明北方春小麦整体生物毒素污染风险较低,质量安全水平相对较高。

3.2 综合营养品质和物理特性参数,北方春小麦与全国小麦总体水平相比,具有籽粒饱满、不完善粒率和杂质率低、蛋白质含量高等优点,适宜加工面粉用于烘焙。

参考文献:

[1] 陈 森,孔丽红,赵玉路.不同品种小麦水旱地品质与产量差异[J].山西农业科学,2007,35(8):35-37.

[2] Lu W Z, Cheng S H, Wang Y Z. Progress on Fusarium head blight of wheat[M].Beijing:Science Press, 2001: 23-26.

[3] 赵广才,常旭虹,刘利华,等.施氮量对不同强筋小麦产量和加工品质的影响[J].作物学报,2006,32(5):723-727.

[4] 常旭虹,赵广才,王德梅,等.生态环境与施氮量协同对小麦籽粒微量元素含量的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(4):885-895.

[5] 王德梅,赵广才,常旭虹,等.土壤相对含水量对冬小麦氮

素积累、蛋白质组成和加工品质的影响[J].麦类作物学报,2014,34(9):1245-1252.

[6] 熊淑萍,王 静,王小纯,等.耕作方式及施氮量对砂姜黑土区小麦氮代谢及籽粒产量和蛋白质含量的影响[J].植物生态学报,2014,38(7):767-775.

[7] 孙 敏,葛晓敏,高志强,等.不同降水年型休闲期耕作蓄水与旱地小麦籽粒蛋白质形成的关系[J].中国农业科学,2014,47(9):1692-1704.

[8] 杨 阳,熊淑萍,刘 娟,等.土壤质地对强筋型小麦郑麦366氮代谢及氮利用效率的影响[J].麦类作物学报,2013,33(3):466-471.

[9] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 5498-2013 粮油检验 容重测定[S].北京:中国标准出版社,2013.

[10] 卫生部. GB 5009.5-2010 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S].北京:中国标准出版社,2010.

[11] 卫生部. GB/T 5009.6-2003 食品中脂肪的测定[S].北京:中国标准出版社,2003.

[12] 卫生部. GB/T 5009.9-2008 食品中淀粉的测定[S].北京:中国标准出版社,2008.

[13] 刘 丽,彭茂民,夏 虹.湖北省小麦质量状况调查与分析[J].湖北农业科学,2017,56(24):4872-4874.

[14] 陶贵鹏,李明月.小麦胚与V_E营养保健价值[J].粮油食品科技,2002,10(1):45-46.

[15] 何凤丽,田纪春,陈建省,等.基因型和环境对小麦籽粒粗淀粉含量的影响[J].山东农业大学学报(自然科学版),2009,40(2):169-172.

[16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局. GB 2761-2017 食品安全国家标准 食品中真菌毒素限量[S].北京:中国标准出版社,2017.

[17] 李 刚,杨粉团,曹庆军,等.玉米等主要作物真菌毒素、限量标准与调控技术[J].东北农业科学,2017,42(6):49-52.

(责任编辑:王 昱)

(上接第86页)

[12] Easterling D R. Recent changes in frost days and the frost-free season in the United States[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2002, 83(9): 1327-1332.

[13] Kunkel K E, Easterling D R, Hubbard K. Temporal variations in frost-free season in the United States: 1895-2000[J]. Geophysical Research Letters, 2004, 31(3): 1-4.

[14] Menzel A, Jakobi G, Ahas R. Variations of the climatological growing season(1951-2000) in Germany compared with other countries[J]. International Journal of Climatology, 2003, 23(7): 793-812.

[15] 汪青春,胡 玲,刘宝康.青海高原主要农业区50年初·终霜冻日变化特征及分布规律分析[J].安徽农业科学,2012,40(33):16265-16269.

[16] Shen S S P, Yin H, Cannon K. Temporal and Spatial Changes of the Agroclimate in Alberta, Canada, from 1901 to 2002[J]. Journal of Applied Meteorology, 2005, 44(7): 1090-1105.

[17] 宁晓菊,张丽君,杨群涛,等.1951年以来中国无霜期的变

化趋势[J].地理学报,2015,70(11):1811-1822.

[18] 许 艳,王国复,王盘兴.近50a中国霜期的变化特征分析[J].气象科学,2009,29(4):427-433.

[19] 钱锦霞,张 霞,张建新,等.近40年山西省初终霜日的变化特征[J].地理学报,2010,65(7):802-808.

[20] 柏秦凤,李星敏,朱 琳.近50年陕西省无霜期的变化及果区霜冻风险分布[J].干旱区资源与环境,2013,27(8):65-70.

[21] 姬兴杰,李凤秀,王纪均.1971-2010年河南省霜期的时空分布特征及其对气温的响应[J].气象与环境学报,2015,31(1):67-75.

[22] 王美玉,王冬妮,郭春明,等.三种热量指数预测方法在热量年型预测中的应用[J].东北农业科学,2018,43(1):51-58.

[23] 王冬妮,曲思邈,姚渝丽,等.吉林省主要农区气候变化特征及其对玉米农田土壤湿度的影响[J].东北农业科学,2015,40(6):42-46.

(责任编辑:王 昱)