

慕臣英,纪瑞鹏,周晓宇,等. 1960—2016年沈阳地区霜冻初、终日和无霜冻期时空特征[J]. 干旱气象, 2018, 36(2): 290-294. [MU Chenying, JI Ruipeng, ZHOU Xiaoyu, et al. Temporal and Spatial Characteristics of the First and the Last Dates of Frost and Frostless Periods in Shenyang During 1960-2016[J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(2): 290-294], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-02-0290

1960—2016年沈阳地区霜冻初、 终日和无霜冻期时空特征

慕臣英^{1,2}, 纪瑞鹏¹, 周晓宇³, 张菁²,
宋晓巍², 李石², 高桐², 张郁²

(1. 中国气象局沈阳大气环境研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2. 辽宁省沈阳市气象局,
辽宁 沈阳 110168; 3. 沈阳区域气候中心, 辽宁 沈阳 110166)

摘要:基于1960—2016年沈阳地区5个气象观测站逐日最低气温资料,采用气候统计学方法,分析该地区霜冻初、终日和无霜冻期的时空特征及其对农业的影响。结果表明:近57 a来,沈阳地区霜冻初日呈推迟趋势,平均每10 a推迟0.9 d,而终日呈显著提前趋势,平均每10 a提前1.9 d,导致无霜冻期显著延长,平均每10 a延长2.8 d,有利于作物生长季延长、热量资源增加;霜冻变化存在不稳定性波动,对农业生产极为不利,不稳定性由大到小依次为无霜冻期、霜冻终日、霜冻初日;霜冻极早初日除康平出现3次,其他地区出现频数为5~6次,极晚终日发生频数为4~7次,新民最多。

关键词:霜冻初、终日;无霜冻期;变化特征

文章编号:1006-7639(2018)02-0290-05 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-02-0290

中图分类号:S42

文献标志码:A

引言

霜冻是指生长季内因植株体温降至0℃以下而受害的一种农业气象灾害,发生于春秋季节。通常将春季最后一次霜冻出现的日期称作霜冻终日,秋季第一次出现霜冻的日期称作霜冻初日,一年中霜冻终日至初日之间的天数称作无霜冻期^[1-3]。霜冻初、终日和无霜冻期是评价一个地区热量资源多寡、作物种植布局合理与否的主要依据之一,尤其是我国北方,一旦出现霜冻初日异常提前或者终日异常推迟,都会对农业生产造成较大影响。近年来,在气候变暖背景下霜冻初、终日和无霜冻期的变化研究受到广泛关注^[4-7]。研究表明,伴随着全球气候变暖,美国^[8]、德国^[9]、加拿大^[10]等多地霜冻初日推迟,终日提前,无霜冻期延长。中国大部分地区^[11-16],尤其是东部地区,霜冻也呈现出初日推迟、终日提前、无霜冻期延长的变化特征。气候变暖是其根本原因,但这种影响存在区域性差异。

沈阳市位于辽宁省中部,地势平坦,以平原为主,农业种植结构多样化,多为大田露地栽培,霜冻终日偏晚不利于春播作物苗期、果树花期以及露地栽培蔬菜生长发育,而霜冻初日偏早不利于大田作物及果蔬成熟期生产品质^[17-19]。如1988年5月2日,沈阳地区最低气温降至0℃以下,郊区地面最低温度为-4~-3℃,近12万株西红柿苗和3万株茄子苗冻死。

本文以1960—2016年沈阳地区具有代表性的康平、法库、新民、辽中和浑南5个气象观测站逐日最低气温资料,分析该地区霜冻初、终日和无霜冻期的时空变化特征,为应对气候变化,采取有效防御霜冻灾害措施、优化农业结构和作物布局、保障农业生产提供参考。

1 资料与方法

1.1 资料

选取1960—2016年沈阳地区时间序列较长的

收稿日期:2017-06-19; 改回日期:2017-10-31

基金项目:中国气象局沈阳大气环境研究所开放基金项目“辽宁省玉米不同生育阶段农业气候资源评价模型研究”(2017SYIAE08)和沈阳市气象局研究项目“沈阳玉米春播期水分资源变化特征及早涝评估”(SYBA201701)共同资助

作者简介:慕臣英(1988—),女,工程师,主要从事农业气象研究. E-mail:mucheny@126.com。

5个气象观测站(康平、法库、新民、辽中和浑南)逐日最低气温资料。

霜冻是由于气温降低而导致农作物受冻的灾害,是以日最低气温 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 作为指标,秋季日最低气温 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的第一天定义为霜冻初日,春季日最低气温 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的最后一天定义为霜冻终日,霜冻终日的翌日至初日的前一天之间的日数为无霜冻期^[20-21]。

1.2 霜冻异常初、终日的确定方法

霜冻日期与气温变化密切相关,因此它同气温一样具有正态分布特征。挑选霜冻极早初日和极晚终日的概率值均为0.05较为合适。根据正态分布原理,其关系式^[22]如下:

$$P(-1.65\delta < X - \mu < 1.65\delta) = 0.90 \quad (1)$$

$$[1 - P(-1.65\delta < X - \mu < 1.65\delta)]/2 = 0.05 \quad (2)$$

式中: P 为霜冻极早初日、极晚终日的概率(%);为了便于霜冻初日、终日日期的统计,以日序代替日期,即以1月1日为起点记为1,依次类推,如3月1日记为60,则 X 为霜冻初、终日日序; μ 为1981—2010年平均初、终霜冻日日序均值; δ 为初、终霜冻日日序标准差。

当 $X - \mu < -1.65\delta$ 、 $X - \mu > 1.65\delta$ 分别定义为霜冻极早初日和极晚终日。根据上述标准,统计了1960—2016年沈阳地区霜冻异常初、终日出生年份。

另外,采用气候倾向率和距平分析方法对气象要素进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 霜冻初、终日及无霜冻期空间分布特征

表1是1960—2016年沈阳各地区霜冻初、终日及无霜冻期的特征统计。近57a来,沈阳地区霜冻初日集中在10月中旬,平均初日为10月12日,最早霜冻初日出现在法库县,为9月19日(1977年),

最晚出现在新民和浑南,为10月31日(1998年);法库县霜冻最早、最晚初日变幅最大,达41d,其他地区霜冻最早、最晚初日相差30~32d,其中康平霜冻初日变幅最小。

沈阳各地区霜冻终日集中出现在4月中旬,平均终日为4月15日,霜冻最早、最晚终日均出现在新民,分别为3月28日(2002年)、5月7日(1968年);全区霜冻最早、最晚终日相差29~40d,终日变幅浑南最小,新民最大。

各地区平均无霜冻期为171~183d,无霜冻期最长出现在新民和浑南为212d(1998年),最短出现在新民为144d(1968年);各地无霜冻期变幅为51~83d,康平和辽中变幅最小,法库变幅最大。

2.2 霜冻初、终日及无霜冻期年变化趋势

图1为1960—2016年沈阳地区霜冻平均初、终日及无霜冻期的年际及年代际变化趋势。可以看出,近57a来沈阳地区霜冻初日整体呈不显著推迟趋势,平均每10a推迟0.9d;与多年平均值比较,1960年代、1970年代、2010—2016年霜冻初日较平均值偏早2~4d,其他年代较平均值偏晚1~3d,经历“早、晚、早”的阶段变化[图1(a)]。霜冻终日整体呈显著持续提前趋势,平均每10a提前1.9d,1980年代以前霜冻终日较多年平均值偏晚2~7d,1980年代以后终日较多年平均值偏早1~4d[图1(b)]。受霜冻终日提前、初日推迟影响,无霜冻期以 $2.8\text{ d} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 的趋势延长,57a延长16.0d。其中,1980年代以前无霜冻期较多年平均值偏少,而后持续较平均值偏多[图1(c)]。

综上所述,沈阳地区总体呈现霜冻初日推迟、终日提前、无霜冻期延长的趋势,各地区霜冻初、终日及无霜冻期的变化趋势与全区一致,但变化幅度有较明显的区域性差异,西北地区(康平、法库和新民)霜冻初、终日及无霜冻期年变化幅度较为明显,而东南部变化相对较小(表2)。

表1 1960—2016年沈阳地区霜冻初、终日及无霜冻期特征统计

Tab.1 The characteristics statistics of the first and last dates of frost and frostless periods in Shenyang of Liaoning Province from 1960 to 2016

地区	霜冻初日				霜冻终日				无霜冻期/d			
	平均日期	最早日期	最晚日期	极差/d	平均日期	最早日期	最晚日期	极差/d	平均	最短	最长	极差
康平	10-14	09-30	10-30	30	04-14	04-01	05-03	32	183	160	211	51
法库	10-08	09-19	10-30	41	04-19	04-01	05-05	34	171	150	211	83
辽中	10-14	09-29	10-30	31	04-13	04-01	05-01	30	183	160	211	51
新民	10-13	09-29	10-31	32	04-13	03-28	05-07	40	182	144	212	68
浑南	10-13	09-29	10-31	32	04-14	03-31	04-29	29	180	160	212	52

注:09-30表示9月30日,其他以此类推。

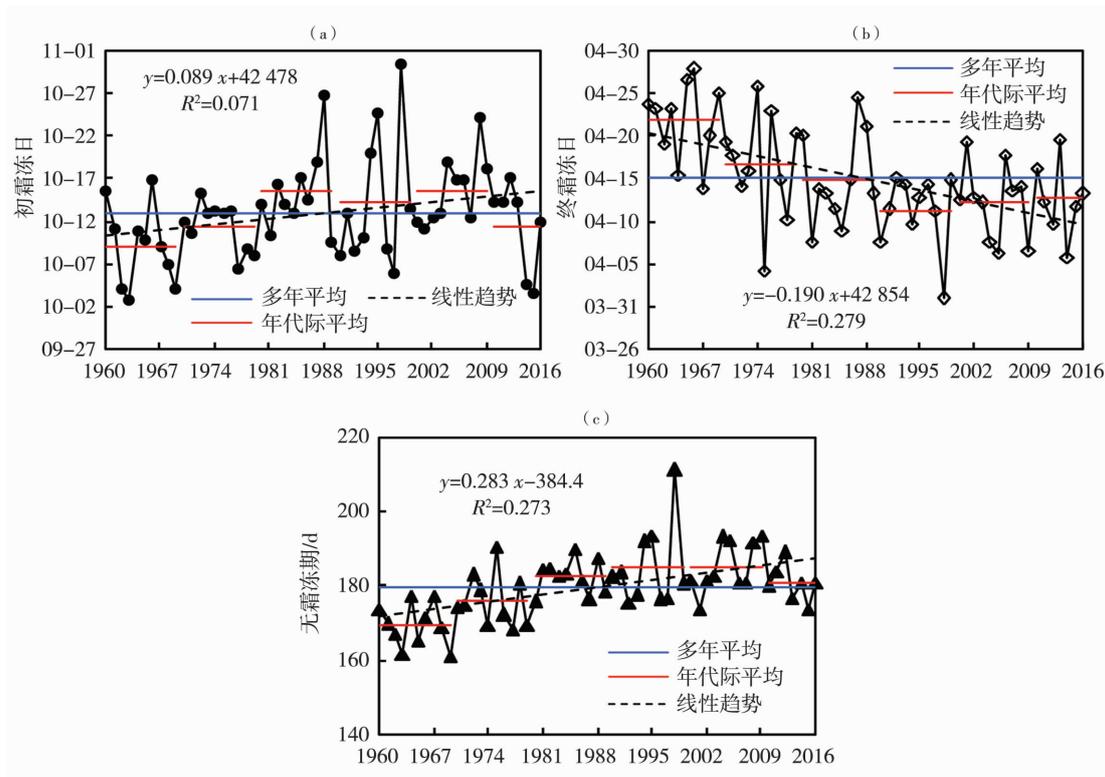


图1 1960—2016年沈阳地区霜冻初日(a)、终日(b)及无霜冻期(c)的变化趋势

Fig.1 Change trends of the first (a) and the last (b) dates of frost, and frostless period (c) in Shenyang of Liaoning Province from 1960 to 2016

表2 1960—2016年沈阳地区霜冻初、终日及无霜冻期的气候倾向率

Tab.2 Climatic tendency rates of the first and the last dates of frost and frostless period in Shenyang of Liaoning Province from 1960 to 2016

单位: $d \cdot (10 a)^{-1}$

地区	气候倾向率		
	初日	终日	无霜冻期
康平	1.4 **	-2.4 **	3.8 **
法库	1.1	-1.9 **	3.0 **
辽中	0.3	-1.6 **	1.9 *
新民	1.5 **	-3.1 **	4.7 **
浑南	0.2	-0.5	0.6
平均	0.9 *	-2.0 **	2.8 **

注: *、** 分别表示通过0.05、0.01的显著性水平检验。

2.3 霜冻异常初、终日时空变化特征

霜冻初、终日的稳定性对春秋农事生产具有一定影响,特别是终日的不稳定性易导致春季霜冻害及倒春寒的发生,严重影响早春大田作物的播种。从绝对变率来看,沈阳地区霜冻初日平均绝对变率小于终日,说明霜冻初日较终日稳定,年际波动相对

较小;无霜冻期平均绝对变率较前两者大,说明无霜冻期稳定性较差,年际波动更大。从绝对变率的年代际变化趋势来看,除霜冻初日无明显变化特征外,霜冻终日和无霜冻期的绝对变率均有减弱趋势,说明霜冻不稳定性有减弱倾向(表3)。

表3 沈阳地区不同年代霜冻初、终日及无霜冻期平均绝对变率

Tab.3 The mean absolute variation rate of the first and the last dates of frost and frostless period in different decades in Shenyang of Liaoning Province

单位: %

时段	平均绝对变率		
	霜冻初日	霜冻终日	无霜冻期
1960—1969年	6.1	8.2	12.0
1970—1979年	3.6	5.9	7.3
1980—1989年	4.6	5.0	6.4
1990—1999年	7.0	5.8	10.6
2000—2009年	5.1	6.5	9.4
2010—2016年	5.3	4.8	6.7

表4是沈阳地区1960—2016年霜冻极早、晚初(终)日和极长(短)无霜冻期出现年份。可以看出,

近 57 a 沈阳地区霜冻极早初日各站均有出现,出现频数为 3~6 次,辽中、新民、浑南最多,各站出现年份以 1960 年代居多;霜冻极晚初日各站均有出现,出现频数为 1~4 次,以辽中最多,各站主要出现在 1990 年代。然而,霜冻极早终日出现站点较少,仅法库和浑南 2 站,出现频数为 2~4 次,前者在 1990 年代和 2000 年代各出现一次,而后者在 1970 年代

以后每 10 a 出现一次;霜冻极晚终日各站均有出现,出现频数较极早终日明显增多,为 4~7 次,其中新民最多,康平和法库最少,多集中出现在 1960 年代。近 57 a 来,沈阳地区极长、极短无霜冻期各站均有出现,极长无霜冻期发生频数较极短无霜冻期明显偏少,前者为 1~2 次,多发生在 1990 年代末,而后者为 4~8 次,多发生在 1960 年代。

表 4 1960—2016 年沈阳地区霜冻极早、晚初(终)日和极长(短)无霜冻期出现年份

Tab. 4 The years with exceeding early and late of the first (last) date and exceeding long (short) of frostless period of frost events in Shenyang during 1960–2016

站名	霜冻初日		霜冻终日		无霜冻期	
	极早	极晚	极早	极晚	极长	极短
康平	1963,1984, 2015	1988,1995, 1998		1961,1965, 1974,1999	1998	1961,1963,1964,1965, 1969,1974,1976,1999
法库	1977,1981, 2001	1998	1998,2009	1961,1966, 1969,1988	1998,2009	1962,1963,1966,1969, 1977,2001
辽中	1963,1979, 1992,1997, 2014,2015	1988,1994, 1995,1998		1960,1965, 1966,1979, 1987	1998	1960,1963,1969,1979
新民	1962,1963, 1967,1968, 1969,1997	1988,1995, 1998		1960,1963, 1965,1966, 1968,1974, 1987	1998	1962,1963,1965,1967, 1968,1969,1974
浑南	1962,1963, 1969,2011, 2014,2015	1988,1995, 1998	1975,1981, 1998,2004	1964,1966, 1970,1987, 2007,2008	1998,2004	1964,1969,2007,2011, 2015

3 结论与讨论

(1) 1960—2016 年,沈阳地区霜冻初日平均为 10 月 12 日,最早为 9 月 19 日;霜冻终日平均为 4 月 15 日,最晚出现在 5 月 7 日;平均无霜冻期 171~183 d,极差为 51~83 d。

(2) 近 57 a 来,沈阳地区霜冻整体呈现初日推迟、终日显著提前、无霜冻期显著延长的趋势。其中,霜冻初日平均每 10 a 推迟 0.9 d,终日平均每 10 a 提前 1.9 d,无霜冻期平均每 10 a 延长 2.8 d。同时,霜冻存在明显的年代际波动,霜冻初日较平均值经历“早、晚、早”的阶段变化,终日经历了由晚变早的变化,而无霜冻期经历由少变多的变化。

(3) 近 57 a,沈阳地区霜冻变化存在不稳定性波动,对农业生产极为不利,不稳定性由大到小依次为无霜冻期、霜冻终日、霜冻初日,但这种不稳定性在年代际变化上有减弱趋势。各站霜冻极早、极晚初日均有出现,出现频数分别为 3~6 次和 1~4 次,

前者以辽中、新民、浑南最多,且多集中在 1960 年代,后者以辽中最多,且多出现在 1990 年代;霜冻极早终日仅法库和浑南 2 站出现,而极晚终日各站均有出现,发生频数为 4~7 次,新民最多,多集中出现在 1960 年代。极长、极短无霜冻期各站均有出现,前者发生频数(1~2 次)较后者(4~8 次)明显偏少,分别多发生在 1990 年代末和 1960 年代。

综上所述,沈阳地区霜冻变化趋势整体利于作物生长季的延长,生长季热量资源的增加,这对扩大晚熟品种的种植面积、提高农产品产量和品质十分有利。然而,霜冻变化的不稳定性容易导致个别年份出现霜冻初日过早、终日偏晚现象,增加低温灾害风险,不利于农业生产。因此,在安排、调整作物种植计划和布局时,不能忽视霜冻害的影响,可采取灌溉、覆盖等措施降低霜冻危害。

参考文献:

[1] 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.
- [2] 霍治国, 王石立, 郭建平, 等. 农业和生物气象灾害[M]. 北京: 气象出版社, 2009.
- [3] 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): 801-808.
- [4] 贾建英, 郭建平. 东北地区近46年玉米气候资源变化研究[J]. 中国农业气象, 2009, 30(3): 302-307.
- [5] 翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近50年温度和降水极端事件变化[J]. 地理学报, 2003, 58(增): 1-10.
- [6] 冯玉香, 何维勋. 霜冻的研究[M]. 北京: 气象出版社, 1996.
- [7] 李军玲, 张弘, 曹淑超. 基于GIS的河南省冬小麦晚霜冻风险评估与区划[J]. 干旱气象, 2015, 33(1): 45-51.
- [8] 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.
- [9] MENZEL A, JAKOBI G, AHAS R, et al. Variations of the climatological growing season (1951-2000) in Germany compared with other countries[J]. International Journal of Climatology, 2003, 23(7): 793-812.
- [10] SHEN S S P, YIN H, CANNON K. Temporal and spatial changes of the agro-climate in Alberta, Canada, from 1901 to 2002[J]. Journal of Applied Meteorology, 2005, 44(7): 1090-1105.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 叶殿秀, 张勇. 1961—2007年我国霜冻变化特征[J]. 应用气象学报, 2008, 19(6): 661-665.
- [14] 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(增): 31-37.
- [15] 韩荣青, 李维京, 艾婉秀, 等. 中国北方初霜冻日期变化及其对农业的影响[J]. 地理学报, 2010, 65(5): 525-532.
- [16] 李辑, 严晓瑜, 王颖. 辽宁省近50年霜的气候变化特征[J]. 气象, 2010, 36(11): 38-45.
- [17] 周小珊, 陈力强, 李辑, 等. 全球气候变暖条件下沈阳若干气候特征的变化[J]. 高原气象, 2005, 24(5): 823-828.
- [18] 明惠青, 唐亚平, 孙婧, 等. 近50年辽宁无霜期积温时空演变特征[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(2): 276-280.
- [19] 王秀萍, 任国玉, 赵春雨, 等. 近46年大连地区初、终霜冻事件和无霜期变化[J]. 应用气象学报, 2008, 19(6): 673-678.
- [20] 王荣梅, 张晓琴, 刘姣, 等. 新疆喀什地区近50a来霜冻变化特征及其对农业的影响[J]. 干旱气象, 2013, 31(2): 309-312.
- [21] 唐晶, 张文煜, 赵光平, 等. 宁夏近44a霜冻的气候变化特征[J]. 干旱气象, 2007, 25(3): 39-43.
- [22] 白松竹, 李焕, 田忠锋. 1961—2008年阿勒泰地区异常初终霜日变化特征[J]. 气象与环境学报, 2010, 26(5): 25-29.

Temporal and Spatial Characteristics of the First and the Last Dates of Frost and Frostless Periods in Shenyang During 1960-2016

MU Chenying^{1,2}, JI Ruipeng¹, ZHOU Xiaoyu³, ZHANG Jing²,

SONG Xiaowei², LI Shi², GAO Tong², ZHANG Yu²

- (1. Institute of Atmospheric Environment, CMA, Shenyang 110016, China;
2. Shenyang Meteorological Bureau of Liaoning Province, Shenyang 110168, China;
3. Regional Climate Center of Shenyang, Shenyang 110166, China)

Abstract: Based on the daily minimum temperature data at 5 meteorological stations in Shenyang of Liaoning Province from 1960 to 2016, the temporal and spatial variation characteristics of the first and the last dates of frost and frostless period were statistically analyzed. The results showed that the first date of frost delayed with the rate of 0.9 day per 10-year, while the last date of frost brought forward significantly with the rate of 1.9 day per 10-year, and the frostless period prolonged significantly with the rate of 2.8 day per 10-year in the past 57 years in Shenyang of Liaoning Province, which was conducive to the prolonging of crop growing season and increase of heat resources. The frost fluctuated unsteadily during 1960-2016 in Shenyang, which increased the risk of frost damage and was harmful to agricultural production. The instability of frost was successively frostless period, the last date of frost and the first date of frost. It was found that the frequency of extremely early events for the first date of frost ranged from 5 to 6 times in other stations of Shenyang except for Kangping with 3 times, while that of extremely late events for the last date of frost ranged from 4 to 7 times, and the value in Xinmin station was the most.

Key words: the first and last date of frost; frostless period; variation character