

近 46 年大连地区初、终霜冻事件和无霜冻期变化^{* 1}

王秀萍¹⁾ 任国玉²⁾ 赵春雨³⁾ 于德华⁴⁾

¹⁾(大连市气象台,大连 116001) ²⁾(国家气候中心 中国气象局气候研究开放实验室,北京 100081)

³⁾(沈阳区域气候中心,沈阳 110016) ⁴⁾(大连市专业气象台,大连 116001)

摘 要

以不高于 0℃ 最低气温作为霜冻指标,利用 1961—2006 年大连地区 3 个国家级气象站逐日最低气温资料,采用现代气候诊断分析方法,分析了该地区初、终霜冻事件和无霜期变化的特征。结果表明:近 46 年来,大连和瓦房店站均表现为初霜冻日推迟、终霜冻日提早、无霜冻期延长的变化趋势,其中瓦房店站表现得更为显著;庄河站的初霜冻日和终霜冻日表现出相似的变化,但各自的变化趋势不显著,而无霜冻期延长趋势显著;大连境内极早初霜冻日和极晚终霜冻日发生频数分别为 1~3 次和 1~4 次,大连最多,瓦房店最少;大连站的初霜冻日期存在 2 年和 11 年的显著周期,终霜冻日期存在 22 年的显著周期,庄河站的初霜冻日期和无霜冻期均存在 11 年左右显著周期;异常霜冻事件大连和庄河站 20 世纪 60 年代出现的频数最多,21 世纪初最少;而瓦房店 21 世纪初异常霜冻事件出现的频数最多,20 世纪 80 年代最少。

关键词: 大连地区;初霜冻日;终霜冻日;无霜冻期

引 言

气候变化已成为科学家和公众共同关心的问题。从 20 世纪初到 2005 年,全球平均气温大约上升了 0.8℃^[1]。近百年来我国气候变化趋势与全球基本一致^[2-3],但近 50 年增温比全球平均状况显著^[4]。在气候变暖的背景下,全球许多地区的低温冷害事件发生频率和霜冻起讫日期也出现了明显的变化。例如,Heino 等^[5]发现,20 世纪北欧的霜冻日数减少;Bonsal 等^[6]发现加拿大也有类似特征;研究表明,美国地区霜冻日数变化趋势有明显的区域差异^[7-8]。在我国北方,近 50 年霜冻日数有明显减少的趋势,但趋势显著性存在明显的区域差异。1961—2000 年期间西藏雅鲁藏布江谷地初、终霜冻日期也发生了明显变化^[9-10]。

东北是我国地面气温上升非常显著的地区,气候变暖主要发生在冷季^[11-12],这可能对初、终霜冻日期和无霜冻期长度有重要影响。杨克明等^[13]曾利用实测和历史天气图资料,分析了东北地区 1967—

1997 年初霜冻日期的天气气候特征,也有研究者分析了东北局部地区初、终霜冻日期和无霜冻期的变化情况^[14-18],但在辽东半岛地区相关研究还没有开展。本文利用大连地区日最低气温资料,对此进行初步分析。这项研究有助于了解位于东北南部的辽东半岛霜冻气候和气候变化特征,为提高该地区对异常霜冻灾害的预测能力、有效防御霜冻灾害提供参考。

1 资料和方法

选取大连地区资料年限长、连续性好的大连、瓦房店和庄河 3 个测站 1961—2006 年的日最低气温资料,分析初(终)霜冻日期的变化趋势。霜冻是因为大气温度降低而引起农作物受冻的一种灾害。为了能根据气象观测资料分析霜冻发生的时间,本文把初(终)霜冻日定义为:秋季(春季)的日最低气温首次出现小于或等于(大于或等于) 0℃ 的日期。

由于霜冻日期与大气温度降低密切相关,因此它同气温一样具有正态分布特征。所以,挑选极早

* 科技部国际合作项目“区域气候变化的监测、模拟和影响研究”(2005DFA20940)和国家“十一五”科技支撑项目课题(2007BAC29B02)共同资助。

2008-02-18 收到,2008-05-23 收到再改稿。

初霜冻日和极晚终霜冻日的概率值都以 0.05 较为合适。根据正态分布原理,其关系式^[19]为:

$$P(-1.65\sigma < \bar{X} - \mu < 1.65\sigma) = 0.90 \quad (1)$$

$$[1 - P(-1.65\sigma < \bar{X} - \mu < 1.65\sigma)]/2 = 0.05 \quad (2)$$

同理,挑选偏早和偏晚霜冻的概率值为 0.11,即

$$[P(1.65\sigma > \bar{X} - \mu > \sigma) +$$

$$P(-1.65\sigma < \bar{X} - \mu < -\sigma)]/2 = 0.11 \quad (3)$$

式(1)~(3)中, P 为概率值(单位:%), \bar{X} 为初(终)霜冻日, μ 为1971—2000年30年平均值, σ 为标准差。

因此,本文规定“异常”初、终霜冻日的标准为:小于 -1.65σ 和大于 1.65σ 分别称为极早初霜冻日和极晚终霜冻日。根据上述标准,统计分析了大连地区1961—2006年期间异常初、终霜冻日出现的年份。在 $-1.65\sigma \sim -\sigma$ 和 $\sigma \sim 1.65\sigma$ 分别称为偏早初霜冻日和偏晚终霜冻日。

对分析时期的初(终)霜冻日线性变化趋势,采用最小二乘法求得。多年平均值是1971—2000年30年的平均,距平值是指相对多年平均值的差。初(终)霜冻日的周期分析采用功率谱方法,最大落后时间长度取10年。

2 初、终霜冻事件气候特征

大连地区3个站平均初霜冻日出现在10月9日—11月2日之间,最早可提前到9月下旬。大连站平均初霜冻日出现在11月2日,最早可提前到10月10日。瓦房店站通常出现在10月12日,最早可提前到9月27日。

平均终霜冻日大连站出现在3月8日,最迟出

现在4月21日。瓦房店站通常出现在4月15日,最晚可推迟到5月16日,庄河站通常出现在4月12日,最迟发生在5月6日。

全区平均无霜冻期为178~220 d,最长的年份可达184~259 d,最短的年份则缩至148~208 d;南部的大连站无霜冻期最长;东北部的庄河站最短。82%保证率的无霜冻期在160~210 d之间。

表1为近46年大连地区出现极早(晚)初(终)霜冻事件和无霜冻期的年份。极早初霜冻频数为1~3次,以大连最多。极早初霜冻大连20世纪70年代出现了2次,80年代出现了1次,庄河在20世纪60年代初期、70年代末期各出现1次,瓦房店只在20世纪70年代中期出现1次初霜冻来得极早的年份。各站极晚初霜冻发生的频数为1~4次,其中大连和瓦房店最多,主要发生在20世纪90年代中期以后。

极晚终霜冻发生的频数为1~4次,瓦房店最少,大连最多。其中庄河全部出现在20世纪60年代,达3次,1965,1966年连续2年终霜冻结束得极晚。而极早终霜冻的频数除大连未出现外,庄河在20世纪90年代出现1次,瓦房店最多达5次,但全部出现在21世纪的近6年内。

大连地区极长无霜冻期发生的频数为1~4次。20世纪60年代多出现极短无霜冻期年,极长无霜冻期年一般出现在20世纪90年代和21世纪初。瓦房店出现过4次极长无霜冻期年,均发生在21世纪初。大连出现过3次极短无霜冻期年,分别发生在20世纪60年代中期、70年代初期和80年代中期,瓦房店未出现过极短无霜冻期年,庄河出现2次极短无霜冻期年,均发生在20世纪60年代中期以后。

表1 大连地区极早(晚)初(终)霜冻事件出现的年份

Table 1 The years with exceptional early (late) first (last) frost events in Dalian area

站名	初霜冻日		终霜冻日		无霜冻期	
	极早	极晚	极早	极晚	极长	极短
大连	1970,1979, 1981	1980,1994, 1995,1998		1962,1965, 1979,1986	1993	1965,1973,1986
瓦房店	1974	1995,2002, 2004,2006	2002,2003,2004, 2005,2006	1972	2002,2003, 2005,2006	
庄河	1963,1978	2003	1998	1965,1966,1969	1976,1998	1966,1969

表2为近46年大连地区出现偏早(晚)初(终)霜冻事件和无霜冻期的年份。偏早初霜冻出现的频数大连为7次,瓦房店5次,庄河3次,其中瓦房店在20世纪60年代出现3次,70年代、80年代各出

现1次,大连20世纪80年代连续2年出现初霜冻偏早,即1986,1987年,60年代出现3次,70年代1次,90年代1次,庄河20世纪60年代末、70年代初、80年代末各出现1次。偏晚初霜冻出现的频数

在 1~7 次之间,以庄河最多,主要出现在 20 世纪 70 年代和 90 年代。

偏晚终霜冻发生频数为 2~5 次,以大连和庄河最多,其中大连 20 世纪 60 年代较多,90 年代以后未出现;庄河主要出现在 20 世纪 80 年代末以后,占总次数的 80%;瓦房店发生了 2 次,20 世纪 60 年代末和 70 年代末各出现 1 次。偏早终霜冻发生的频

数为 3~6 次,庄河最多,20 世纪 80 年代中期以后出现较多,而瓦房店出现了 3 次,均出现在 20 世纪 90 年代。偏长无霜冻期发生的年份仍以庄河最多,且出现在 20 世纪 80 年代中期以后;大连和瓦房店均出现 3 次,主要出现在 20 世纪 90 年代。偏短无霜冻期出现的频数为 4~7 次,以大连和庄河为最多,20 世纪 60 年代和 70 年代较多。

表 2 大连地区偏早(晚)初(终)霜冻事件出现的年份
Table 2 The years with earlier (later) first (last) frost events in Dalian area

站名	初霜冻日		终霜冻日		无霜冻期	
	偏早	偏晚	偏早	偏晚	偏长	偏短
大连	1964,1967,1969, 1976,1986,1987, 1997	1990	1972,1977,1983, 1993,2003	1963,1966,1967, 1970,1987	1972,1994,1997	1962,1963,1966, 1967,1969,1978, 1980
瓦房店	1964,1968,1969, 1977,1987	1989,1994,2003	1994,1997,1998	1968,1979	1994,1998,2004	1963,1968,1972, 1979
庄河	1969,1974,1988	1961,1971,1977, 1983,1995,1999, 2006	1964,1976,1985, 1989,2003,2005	1974,1988,1991, 2002,2006	1985,1994, 2003,2005	1962,1965,1968, 1973,1977,1987, 1991

图 1 反映大连地区各站不同年代异常霜冻事件出现频数的变化情况。从图 1 可见,大连和庄河站 20 世纪 60 年代出现异常终霜冻和无霜冻期频数均最多,且大连站异常终霜冻频数逐年代递减,庄河 20 世纪 70 年代出现异常初霜冻频数最多,为 3 次,

近 6 年是瓦房店终霜冻和无霜冻期出现异常频数最多的时期,达 4 次或 5 次之多。总体来看,异常霜冻事件大连和庄河站 20 世纪 60 年代出现的频数最多,21 世纪初最少,而瓦房店 21 世纪初出现的频数最多,20 世纪 80 年代最少。

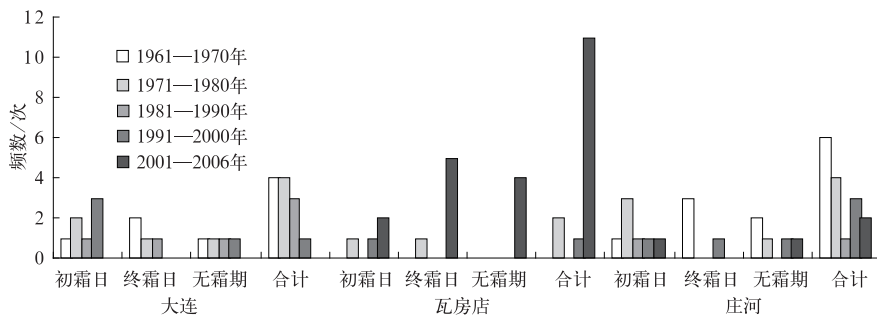


图 1 大连地区各站不同年代异常霜冻事件出现的频数
Fig. 1 The decadal variation in frequency of unusual frost events for each station over Dalian area

3 初、终霜冻日期和无霜冻期年代际变化

表 3 给出各站初(终)霜冻日统计特征和线性变化趋势。大连和瓦房店均表现出初霜冻出现迟、终霜冻结束早的显著趋势,瓦房店尤其显著,平均每 10 年初霜冻日推迟 3.7 d,终霜冻日提早 8.1 d。大

连初霜冻日平均每 10 年推迟 2.9 d,终霜冻日提早 2.7 d。庄河则表现为不显著的初霜冻日推迟、终霜冻日提早。表 3 还显示了最迟、最早初(终)霜冻日期的差值。各站最迟、最早初霜冻日的差值和最早、最迟终霜冻日的差值都在 30 d 以上,其中瓦房店站最早、最迟终霜冻日的差值多达 84 d,这主要是由于春季强烈变暖使终霜冻日不断提前造成的。另外,

表 3 各站 1961—2006 年初(终)霜冻日期统计特征和线性变化趋势
Table 3 Statistical feature and linear trends of the first (last) frost dates during 1961—2006 at each station

	站名	平均日期	最迟(长)日期	最早(短)日期	差值/d	线性趋势/(d/10a)
初霜冻日	大连	11-02	11-27	10-10	48	2.9*
	瓦房店	10-12	11-09	09-27	43	3.7+
	庄河	10-09	10-22	09-20	32	1.2
终霜冻日	大连	03-26	04-21	03-08	44	-2.7*
	瓦房店	04-15	05-16	02-21	84	-8.1+
	庄河	04-12	05-06	03-24	43	-1.8

注: *表示达到 0.05 显著性水平, +表示达到 0.01 显著性水平; 线性趋势中负值代表初(终)霜冻提前, 正值代表初(终)霜冻推后。

各站无霜冻期统计特征(表略)分析表明, 各站均表现为无霜冻期显著延长的趋势, 大连、瓦房店和庄河无霜冻期延长趋势分别通过了 0.05, 0.01 和 0.10 的显著性检验。无霜冻期大连延长 6.0 d/10a, 瓦房店延长 12.5 d/10a, 庄河延长 3.3 d/10a。各站最长与最短无霜冻期的差值均在 40 d 以上, 大连、庄河

差值更大。

图 2 给出瓦房店站初(终)霜冻日和无霜冻期逐年趋势变化情况。从图 2 可见, 瓦房店站的初霜冻日表现出明显推迟、终霜冻日明显提前、无霜冻期显著延长的趋势。自 20 世纪 80 年代以来, 上述趋势更加明显, 各项指数均显著偏离多年平均值。

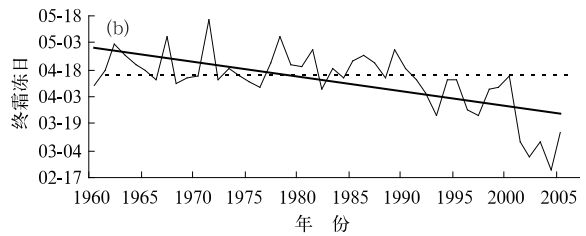
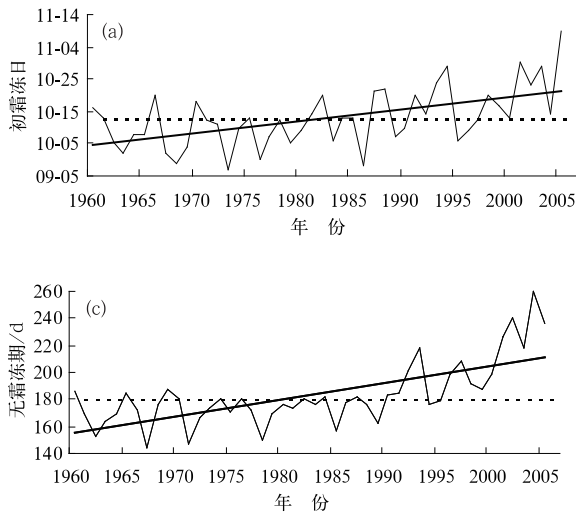


图 2 瓦房店站初霜冻日(a)、终霜冻日(b)和无霜冻期(c)的变化曲线

(折线: 历年值; 粗斜线: 线性趋势; 虚线: 平均值)

Fig. 2 Change in first frost dates(a), last frost dates(b) and frost-free periods(c) at Wafangdian station (broken lines: yearly values; thick lines: linear trend; dashed lines: mean value)

从初(终)霜冻日期和无霜冻期的年代际变化来看, 表现出以下 3 个特点: ① 20 世纪 60 年代到 80 年代初霜冻日表现为逐年代推迟的趋势。例如, 大连 90 年代初霜冻最晚、终霜冻结束得最早、无霜冻期最长; ② 近 6 年来, 瓦房店、庄河皆表现为初霜冻出现最晚、终霜冻结束得最早、无霜冻期最长的特点, 其中瓦房店 2005 年无霜冻期达到 260 d, 为 46 年最大值, 较多年平均值延长了 2 个半月, 但大连站近 6 年的初、终霜冻日期和无霜冻期趋于稳

定, 在多年平均值附近波动。

图 3 给出对大连地区各站初、终霜冻日期和无霜冻期进行的功率谱分析结果。大连站初、终霜冻日期分别在 11 年和 2 年、22 年的功率超过白噪音谱值, 庄河站初霜冻日期和无霜冻期均在 11 年处的功率超过白噪音谱值, 说明大连站初霜冻日期存在 2 年和 11 年左右显著周期, 终霜冻日期存在 22 年左右显著周期, 而庄河站的初霜冻日期和无霜冻期均存在 11 年左右的显著周期。

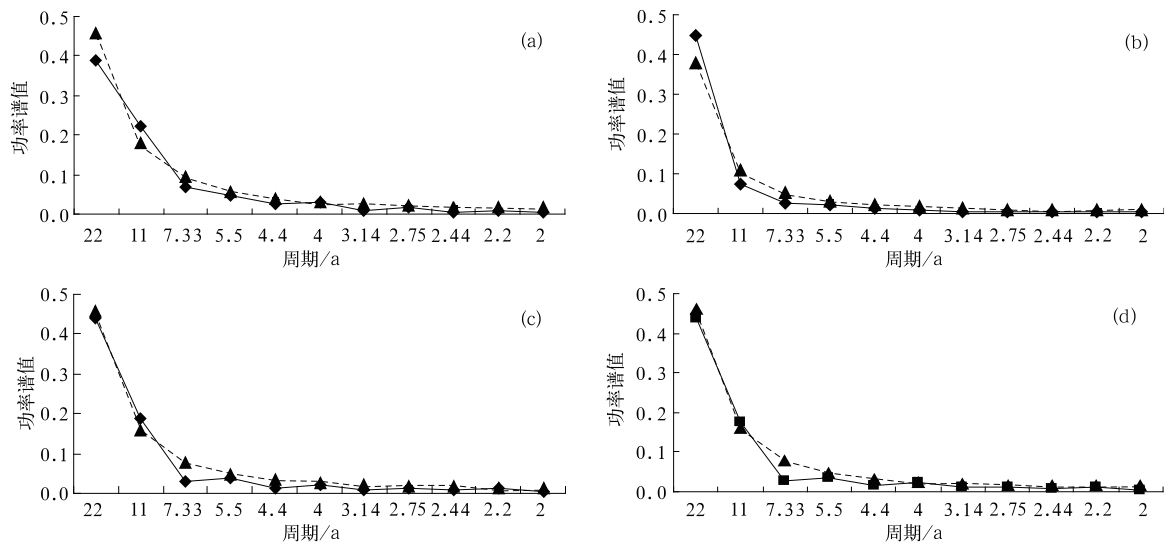


图 3 大连初霜冻日(a)、终霜冻日(b)和庄河初霜冻日(c)、无霜冻期(d)的功率谱分析图
(实线:功率谱;虚线:0.05 显著性水平)

Fig. 3 The power spectrums of first frost dates(a) and last frost dates(b) at Dalian Station, and first frost dates(c) and frost-free periods(d) at Zhuanghe Station
(solid lines: power spectrum; dashed lines: significance at the 0.05 level)

4 结 论

1) 近 46 年(1961—2006 年)大连、瓦房店地区均表现为初霜冻出现迟、终霜冻结束早、无霜冻期延长的显著趋势,使得生长季延长,其中瓦房店站表现得最为显著。庄河站初霜冻日推迟和终霜冻日提早的趋势不显著,但无霜冻期延长的趋势仍较显著。

2) 瓦房店站 20 世纪 90 年代以后初霜冻出现迟、终霜冻结束早、无霜冻期显著延长。20 世纪 60 和 70 年代各站表现为初霜冻出现早、终霜冻结束晚、无霜冻期短的特点。20 世纪 60 年代到 80 年代初霜冻日期有逐年代推迟、终霜冻日期不断提早的趋势。大连站 90 年代初霜冻降得最晚、终霜冻结束得最早、无霜冻期最长。近 6 年来,瓦房店和庄河站与以前年代比较初霜冻日期来得最晚、终霜冻结束得最早、无霜冻期最长,而大连站初霜冻日期、终霜冻日期和无霜冻期在多年平均值附近波动。

3) 各站极早初霜冻事件频数为 1~3 次,以大连为最多。极晚终霜冻事件发生的频数为 1~4 次,瓦房店最少,大连最多。而极早终霜冻事件除大连未出现外,庄河在 20 世纪 90 年代出现 1 次,瓦房店全部出现在 21 世纪近 6 年内,达 5 次之多。瓦房店未出现过极短无霜冻期,但极长无霜冻期出现的次数最多,达 4 次,均出现在 21 世纪初。

4) 异常霜冻事件大连和庄河站 20 世纪 60 年

代出现的频数最多,21 世纪初最少,且大连站异常终霜冻频数逐年代递减。而瓦房店 21 世纪初出现的频数最多,20 世纪 80 年代最少。

5) 大连站的初、终霜冻日期与庄河站的初霜冻日期和无霜冻期存在显著周期现象。其中大连站初霜冻日期的显著周期为 2 年和 11 年左右,终霜冻日期的显著周期为 22 年左右;庄河站的初霜冻日期和无霜冻期均存在 11 年左右的显著周期。

参 考 文 献

- [1] IPCC. Climate Change: Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] 唐国利,任国玉. 近百年中国地表气温变化趋势的再分析. 气候与环境研究, 2005, 10 (4): 791-798.
- [3] 丁一汇,任国玉,石广玉,等. 气候变化国家评估报告(I): 中国气候变化的历史和未来趋势(简介). 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3-8.
- [4] 任国玉,徐铭志,初子莹,等. 近 50 年中国地表气温变化的时空特点. 气候与环境研究, 2005, 10 (4): 717-727.
- [5] Heino R, Brazdil R, Forland R, et al. Progress in the study of climate extremes in Northern and Central Europe. *Climatic Change*, 1999, 42: 151-181.
- [6] Bonsal B R, Zhang X, Vincent L A, et al. Characteristics of daily and extreme temperature over Canada. *J Climate*, 2001, 14: 1959-1976.
- [7] Easterling D R. Recent changes in frost days and the frost-free season in the United States. *Bull Amer Meteor Soc*, 2002, 83: 1327-1332.
- [8] 马柱国. 中国北方地区霜冻日的变化与区域增暖相互关系. 地理学报, 2003, 58(增刊): 31-37.

- [9] 杜军, 宁斌. 雅鲁藏布江中游近 40 年异常初霜冻分析. 气象, 2006, 9(9): 84-89.
- [10] 杜军, 向意. 近 40 年拉萨霜期变化的气候特征分析. 应用气象学报, 1999, 8(3): 379-383.
- [11] 陈隆勋, 邵永宁, 张清芬. 近 40 年我国气候变化初步分析. 应用气象学报, 1991, 2(2): 164-173.
- [12] 宋连春. 近 40 年我国气温时空变化特征. 应用气象学报, 1994, 5(1): 119-123.
- [13] 杨克明, 陈秀凤. 东北地区初霜冻的天气气候特征. 气象, 1999, 25(6): 13-18.
- [14] 于盛楠. 佳木斯地区 50 年初终霜日及无霜期的变化趋势. 杂粮作物, 2004, 24(4): 225-227.
- [15] 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. 高原气象, 2005, 26(5): 823-828.
- [16] 刘敏, 张耀存, 周昕, 等. 铁岭市近 45 年气候变化特征分析. 气象, 2006, 32(5): 99-104.
- [17] 施淑, 曹秋萍. 黑龙江省无霜期的气候变化. 气象, 1998, 24(1): 25-30.
- [18] 沈能展, 梁荣欣, 赵秀兰, 等. 哈尔滨地区初、终霜冻日分布特点的研究. 东北农业大学学报, 2000, 31(2): 129-136.
- [19] 陈乾金, 张永山. 华北异常初终霜冻气候特征的研究. 自然灾害学报, 1995, 4(2): 33-39.

Characteristics of First/Last Frost Date Events and Frost-free Period in Dalian Area During Recent 46 Years

Wang Xiuping¹⁾ Ren Guoyu²⁾ Zhao Chunyu³⁾ Yu Dehua⁴⁾

¹⁾ (Dalian Meteorological Observatory, Dalian 116001)

²⁾ (Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, CMA, Beijing 100081)

³⁾ (Shenyang Regional Climate Center, Shenyang 110016)

⁴⁾ (Dalian Professional Meteorological Observatory, Dalian 116001)

Abstract

Based on the frost index defined by the daily minimum air temperature ≤ 0 °C, and the method of climate diagnosis, the climatic features of the first/last frost dates and frost-free period changes are analyzed with 3 national stations data of daily minimum temperatures in Dalian area from 1961 to 2006. Results show that the first frost dates are postponed, while the last frost dates occur earlier, leading to the significant lengthening of frost-free periods at both Dalian and Wafangdian stations during recent 46 years, with the change being more significant at Wafangdian station. The tendency of the first/last frost dates is statistically significant at Dalian and Wafangdian stations, but it is not for Zhuanghe station, though the increase in frost-free periods at the station can still pass the confidence test. On the other hand, the characteristics in 1960s and 1970s are that the first frost dates comes earlier, the last frost dates ends later so that the frost-free period is short at each station. There is a trend that the first frost dates come later and the last frost dates appear earlier from 1960s to 1980s. The first frost dates are the latest, the last frost dates end the earliest and the frost-free period is the longest in early 1990s at Dalian station. It is notable that, in the past 6 years, the first frost dates appear much later and the last frost dates end much earlier at Wafangdian and Zhuanghe stations, but the dates tend to be stable near the normal values at Dalian station. The change of extreme frost dates for the study area is also analyzed. It is found that the frequency of extreme early first-frost events ranges from 1 to 3 times, with Dalian station witnessing the highest value, and Wafangdian station the lowest. The frequency of extreme late last-frost events is from 1 to 4 times, but it is also the highest at Dalian station and the lowest at Wafangdian station. In addition, the variability of first frost dates indicates 2-year and 11-year cycle and that of last frost dates bears 22-year remarkable quasi-periods at Dalian station, while the first frost dates and frost-free periods at Zhuanghe station have undergone 11-year quasi-periods during recent 46 years. The frequency of anomalous frost events is the highest in 1960s at Dalian and Zhuanghe stations, and the lowest in early 21 century, but it is the highest in early 21 century and the lowest in 1980s at Wafangdian station.

Key words: Dalian area; first frost date; last frost date; frost-free period