

宁夏近 44 a 霜冻的气候变化特征

唐 晶^{1,2}, 张文煜¹, 赵光平³, 白庆梅¹, 王建英², 张 智³

(1. 兰州大学大气科学学院, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730000;
2. 宁夏吴忠气象台, 宁夏 吴忠 751100; 3. 宁夏气象台, 宁夏 银川 750002)

摘 要:对宁夏 1961~2004 年间霜冻发生次数、霜期的变化特征进行了分析, 结果表明: 宁夏霜冻发生主要集中在 4 月和 10 月, 出现次数 4 月中旬最多, 春季霜冻明显多于秋季; 发生次数南北差异较大, 宁南山区发生频率较高, 年平均发生次数达 8.7~10.8 次。同心出现次数最少, 年平均只有 2.1 次; 霜冻发生次数阶段性变化呈“1 升 1 降”和“1 升 2 降”分布, 总体呈下降趋势, 其中 6 月、秋季下降趋势明显。霜冻年发生次数的跃变点是 1984 年, 跃变年以后霜冻发生次数明显减少; 3 个区域的气候变化趋势均为初霜日逐渐推迟, 终霜日逐渐提前, 无霜期逐渐延长。

关键词:霜冻; 次数; 初、终霜日; 变化特征

中图分类号: P468.0⁺21

文献标识码: A

引 言

全球气候变暖已成为社会共同关心的环境问题。近 100 a 来中国气候变化趋势与全球总趋势基本一致, 中国气温上升了 0.4~0.5^[1], 略低于全球平均的 0.6^[2-4]。在全球气候变暖的背景下, 全国许多地区仍然受到低温冷害的侵袭。霜冻是一种低温冷害的重要农业自然现象, 它与最低气温有着密切的关系^[3]。近 50 a 来中国北方地区霜冻次数有明显减少的趋势, 变率大小也存在明显的区域差异, 华北、西北东部和东北西南部是变率较大的地区^[6]。近 40 a 来宁夏年平均气温在波动中不断上升, 1986 以后增温速率加快, 年增温幅度高于全国平均值^[7]; 宁夏年极端最高气温与年极端最低气温均在波动中上升, 年极端最低气温上升幅度明显超过年极端最高气温, 季、月极端最低气温也呈上升趋势^[8]。但是, 以农业为主的宁夏, 霜冻仍然是一种常见的自然灾害, 每年都有不同程度的发生, 造成严重的经济损失^[9]。在气候变暖的背景下, 宁夏霜冻发生次数、初(终)霜日气候特征是否发生了变化? 对此问题的研究, 可以提高霜冻灾害的预测能力, 对提高农作物产量具有重要的现实意义。

1 资料和方法

1.1 资料

以日最低气温 0 作为霜冻指标, 选取宁夏具有代表性的 20 个气象站 1961~2004 年 4 月 15 日至 10 月 15 日的日最低气温资料。

1.2 方法

气候倾向率:通过气象要素的趋势变化用一元线性方程

$$x_t = a_0 + a_1 t,$$

表示, 式中 x_t 为气象要素的拟合值; $a_1 \times 10$ 称为气候倾向率, 表示气象要素每 10 a 的变化率。

趋势系数:用 x_t 表示样本量为 n 的某一个气候变量, 用 t_i 表示 x_t 所对应的时间, 建立 x_t 与 t_i 的一元线性回归方程:

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

其中 a 为常数, b 为回归系数。 $b > 0$ 时, x 随时间 t 的增加呈上升趋势, $b < 0$ 时则反之。

b 值的大小反映了上升或下降的速率。而变量 x_t 与变量 t_i 的相关系数称为趋势系数, 趋势系数表示变量与时间的密切程度。

1.3 气候区划

根据宁夏的气候条件、农牧业分布和生态环境

收稿日期: 2007 - 08 - 03; 改回日期: 2007 - 09 - 04

基金项目: 宁夏自然科学基金项目 (NZ0647) 资助

作者简介: 唐晶 (1966 -), 女, 河南驻马店人, 工程师, 主要从事短期预报及气候研究。 E-mail: tanjing3567@163.com

状况以及传统的习惯,把宁夏划分为3个区域:(1)引黄灌区,包括了石嘴山市、银川市、吴忠市和中卫市的黄河两岸地区;(2)中部干旱带,包括了银川市、吴忠市、中卫市的山区及固原北部;(3)固原市。

2 宁夏霜冻发生次数的气候特征

2.1 空间分布特征

宁夏特殊的地形条件,使得霜冻发生次数南北差异很大。宁南山区发生频率较高,其次是麻黄山、中卫、盐池、灵武和银川以北的大部分地区;出现次数最少的是同心、吴忠、青铜峡等地。年平均发生次数宁南山区的西吉、隆德、兴仁最多,达到8.7~10.8次;其次是固原、泾源、灵武和盐池,达到4.7~5.9次;其它各站均少于4次;最少的同心只有2.1次。

2.2 时间分布特征

2.2.1 月、旬际变化

宁夏20个气象站1961~2004年共出现霜冻3976次,4、5、6、9、10月出现的比率分别为40.7%、16.9%、0.3%、6.8%、35.3%。霜冻主要集中在4月和10月,其次是5月和9月,7、8月1次也没有出现,6月出现的几率很小,且只在南部山区的西吉和隆德出现过。

从霜冻发生次数旬际变化来看,4月中旬最多,其次是4月下旬、10月中旬、10月上旬、5月上旬,最少的是5月下旬、9月中旬、6月上旬、9月上旬和6月中旬。

2.2.2 年际和年代际变化

分析宁夏4、5、6、9、10月霜冻发生次数标准化变量、3点滑动平均线及趋势线(图1)得出:4月份霜冻次数大部分年份低于平均值。1962年次数最多达107次,1964年只有2次,1965年只有1次。20世纪60年代表现出较大的波动,70年代变化比较平稳,80年代初中期波动幅度较大,80年代后期、90年代至21世纪初在稳定的变化中逐渐减小。5月份的霜冻次数20世纪60年代初期、70年代中后期、80年代初期、90年代前期到21世纪中期标准化变量为正值。1966~1970年连续6a、1983~1989年连续7a、1996~2003年连续8a为负值。霜冻发生次数的标准化变量连续负值的年份逐渐加长。6月份全区只有南部山区的2个站出现过霜冻,而且发生次数44a来只有12次。9月份的霜冻次数在20世纪60年代后期至70年代前期有3个正高值点,波动幅度较大,其余绝大部分年份为负值,变化

比较平稳。10月份霜冻发生次数标准化变量20世纪60年代中期至70年代前期大部分年份为正值,之后连续6a为负值,80年代在波动中逐渐减少,80年代后期至90年代初连续5a为负值,90年代中期至21世纪前期连续7a为负值。

由图1看出:春季霜冻发生次数的标准化变量在20世纪60年代负值居多,70年代正值居多,80年代到21世纪初低于平均值的年份多于高于平均值的年份;秋季霜冻发生次数的标准化变量20世纪70年代中后期、80年代初中期、中期到90年代初期、90年代后期到21世纪初连续均为负值,即低于平均值的年份多于高于平均值的年份;霜冻发生次数全年变化比较平稳,低于平均值的年份和高于平均值的年份相等;全年标准化变量20世纪60年代到70年代正值居多,80年代到21世纪初负值居多。

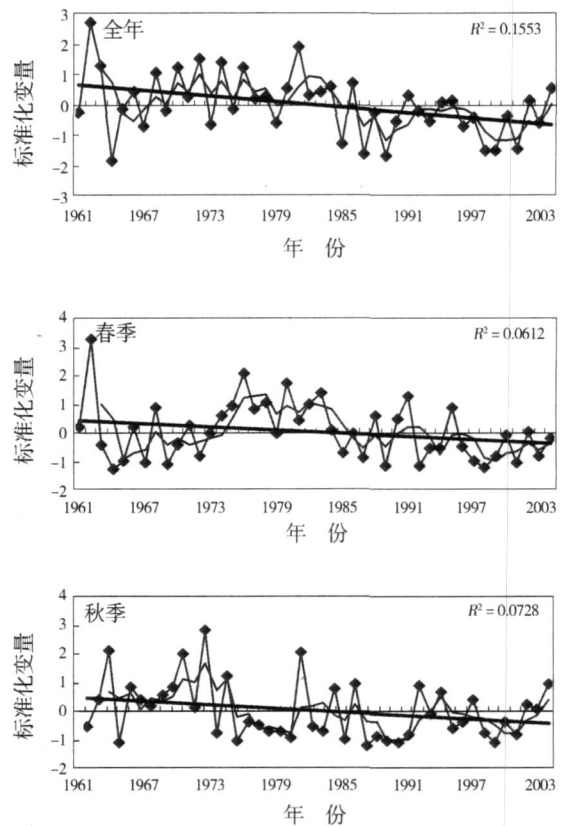


图1 宁夏1961~2004年春季、秋季、全年霜冻次数标准化变量、3点滑动平均及趋势线图(实直线为线性趋势)

Fig 1 The standardized variables, 3-point smoothing mean and trendlines of frost times in spring, autumn and the whole year from 1961 to 2004 in Ningxia region (solid line is for linear trend)

4、5、6、9、10、春季、秋季、全年宁夏霜冻发生次数的线性趋势系数均为负值,见表 1。其中 4 月、5 月、9 月、10 月、春季没有通过显著性水平为 0.1 的检验,6 月、秋季通过检验,全年则通过 0.01 的检

验。从 3 a 滑动平均线也可以明显看出这种变化,各时段气候倾向率均为负值,且呈下降趋势,6 月和秋季、全年霜冻发生次数下降趋势明显。

表 1 趋势系数和倾向率

Tab 1 The linear trend coefficient and tendency rate

时段	4月	5月	6月	9月	10月	春季	秋季	全年
趋势系数	-0.16162	-0.21133	-0.27843	-0.18529	-0.2371	-0.24731	-0.26987	-0.3941
倾向率	-0.125	-0.166	-0.219	-0.146	-0.187	-0.195	-0.213	-0.310

2.3 标准化变量的累积分布特征

图 2 是宁夏 44 a 4 月、5 月、6 月、9 月、10 月、春季、秋季和全年的霜冻发生次数的标准化变量累积距平曲线。从图中可以看出各时间段内有明显的阶段性变化特征。4、5 月表现为“2 降 1 升”的分布。其中 20 世纪 60 年代初期至 70 年代初期的 4 月份和 60 年代初期至中后期、1982 至 2004 年的 5 月份,是霜冻少发阶段。1972 年至 80 年代中后期的和 60 年代中后期至 80 年代初期的 5 月份,是霜冻多发阶段;6、9、10 月份、秋季、全年都表现为“1 升 1 降”的分布规律,其中 20 世纪 60 年代初期至 70 年代后期的 6 月份,20 世纪 60 年代初期至 70 年代初期的,20 世纪 60 年代初期至 80 年代中期的全年都表现为霜冻多发阶段。霜冻少发阶段出现在多发阶段之后到 2004 年;春季则表现为“2 降 1 升”分布。20 世纪 60 年代初期至 70 年代初期,是霜冻少发阶段,这之后到 80 年代中期为霜冻多发阶段,80 年代至 2004 年又是是霜冻少发阶段。

从以上分析可以看出,宁夏 1961~2004 年中的 4 月、5 月、6 月、9 月、10 月、春季、秋季和全年的霜冻发生次数阶段性变化主要是“1 升 1 降”和“1 升 2 降”分布。降的趋势明显大于升的趋势,因此随着气候的逐渐变暖,宁夏全年的霜冻总次数将会减少。

2.4 突变分析

根据图 2 中霜冻标准化变量距平累积曲线的转折点,对宁夏 1961~2004 年的 4 月、5 月、9 月、10 月、春季、秋季和全年的霜冻发生次数作信噪比和 t 检验^[10-11],结果如表 2。从表 2 可知,1961~2004 年 4 月、5 月、9 月、10 月、春秋 2 季、全年宁夏霜冻发生次数均发生了气候跃变。跃变年分别为 1988 年、1982 年、1972 年、1974 年、1984 年、1974 年、1984 年,其中 4 月 t 值超过 0.02 的信度,其它各月、

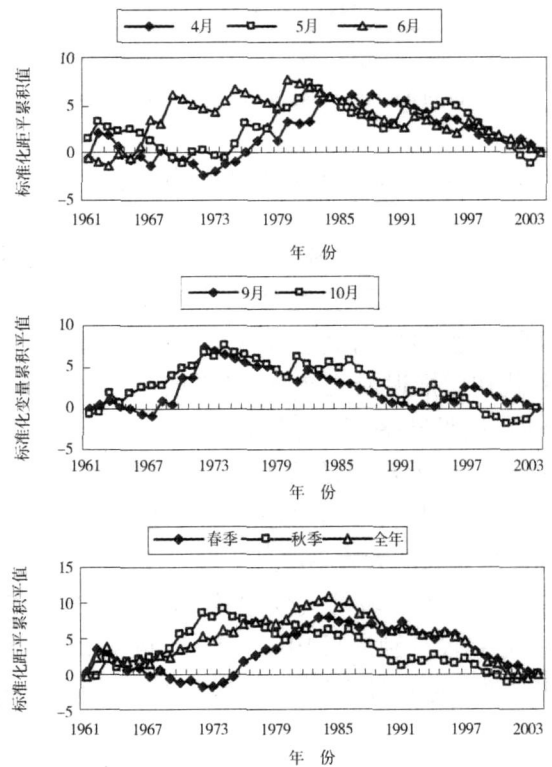


图 2 宁夏 1961~2004 年 4 月、5 月、6 月、9 月、10 月、春季、秋季、全年霜冻次数标准化变量累积距平曲线
Fig 2 The accumulative anomalies of the standardized variables of frost times in April, May, June (a), September, October (b) and spring, autumn, the whole year (c) from 1961 to 2004 in Ningxia region

季、年 t 值均超过 0.01 的信度,各时段次数减少幅度均超过 36.5%,次数减少幅度最大的是 9 月份。

宁夏 44 a 各月、各季、年极端最低气温均呈升温趋势,年极端最低气温在 1982 年发生突变^[8],霜冻年发生次数的跃变点(1984 年)与此接近。正是在这种气候变暖的背景下,宁夏霜冻发生次数显著减少。

表 2 宁夏 1961~2004年 4月、5月、9月、10月、春季、秋季和全年的霜冻发生次数的跃变、检验

Tab 2 The abrupt change, *t* test of frost times in April,
May, September, October, spring, autumn, the whole year from 1961 to 2004 in Ningxia region

月季	跃变年	<i>t</i> 值	均值	跃变前均值	跃变后均值	跃变前后差异	减少幅度
4	1988	-2.669*	36.8	42.6	26.6	-16.0	37.6%
5	1982	-3.383**	15.3	20.6	9.9	-10.7	51.9%
9	1972	-4.313**	6.2	12.9	3.6	-9.3	72.1%
10	1974	-3.512**	31.9	47.2	24.7	-22.5	47.7%
春季	1984	-3.629**	52.3	62.8	39.9	-22.9	36.5%
秋季	1974	-4.529**	38.0	58.4	28.5	-29.9	51.2%
全年	1984	-5.263**	90.4	109.0	68.1	-40.9	37.5%

*为显著度超过 2%, **为显著度超过 1%

* Correlation is significant at the level 0.02, ** Correlation is significant at the level 0.01

3 初(终)霜冻的时间变化特征

分析宁夏 3 个区域的初(终)霜日及无霜期的年代际变化发现, 20 世纪 60 年代初霜日均提前, 终霜日固原地区推迟, 其它地区均提前, 无霜期缩短; 70 年代初霜推迟或无变化、终霜推迟, 无霜期缩短比 60 年代明显; 80 年代引黄灌区无霜期基本无变化, 其他区域无霜期延长; 90 年代引黄灌区和中部干旱带无霜期延长, 固原地区无变化。各年代无霜期缩短或延长的天数不超过 7 d。

宁夏 3 个区域的气候趋势均为初霜日逐渐推迟, 推迟速度分别为每 10 a 0.77、1.44、0.51 d; 中部干旱带推迟趋势较为明显; 终霜日逐渐提前, 提前速

度分别为每 10 a 2.35、1.94、1.96 d; 无霜期逐渐延长, 延长速度分别为每 10 a 3.18、3.43、2.59 d, 引黄灌区和中部干旱带较为明显(表 3)。

根据初(终)霜日的距平累积积分曲线的转折点, 对霜冻作突变分析, 结果表明: 3 个区域 44 a 初(终)霜日及无霜期均发生了突变。初霜日突变年在 1974 年(引黄灌区和中部干旱带)和 1972 年(固原地区), 3 个地区分别通过了 0.1、0.01、0.05 的信度检验; 终霜日突变年在 1984 年(引黄灌区)和 1983 年(中部干旱带和固原地区), 均通过了 0.01 的信度检验; 无霜期突变年在 1984 年(引黄灌区和中部干旱带)和 1983 年(固原地区), 通过了 0.01 的信度检验, 突变后无霜期延长了 10~11 d。

表 3 趋势系数(单位: d/a)和倾向率(单位: d/10 a)

Tab 3 The linear trend coefficients and tendency rates for the first frost date, the last frost date and no frost period in Ningxia region

		引黄灌区	中部干旱带	固原
初霜日	趋势系数	0.121	0.261*	0.077
	倾向率	0.772	1.440	0.511
终霜日	趋势系数	-0.341**	-0.287*	-0.325**
	倾向率	-2.352	-1.936	-1.958
无霜期	趋势系数	0.333**	0.386**	0.287*
	倾向率	3.176	3.429	2.594

*表示 0.1 的显著性水平检验, **表示 0.05 的显著性水平检验

* Correlation is significant at the level 0.1, ** Correlation is significant at the level 0.05

4 小结

(1) 宁夏霜冻主要集中在 4 月和 10 月, 出现次数 4 月中旬最多, 春季霜冻明显多于秋季。

(2) 发生次数南北差异较大, 宁南山区发生频

率较高, 年平均达 8.7~10.8 次, 其次是麻黄山、中卫、盐池、灵武和银川以北的大部分地区, 同心出现次数最少, 年平次只有 2.1 次。

(3) 霜冻发生次数的阶段性变化主要呈“1 升 1

降和“1升2降”分布,总体呈下降趋势,其中6月、秋季下降趋势明显,霜冻年发生次数的跃变点是1984年,跃变年以后霜冻发生次数明显减少。

(4)宁夏3个区域的气候变化趋势均为初霜日逐渐推迟,中部干旱带推迟趋势较为明显;终霜日逐渐提前;无霜期逐渐延长,引黄灌区和中部干旱带延长较为明显。

参考文献:

- [1] 林学椿,于淑秋. 近40年我国气候趋势[J]. 气象, 1990, 16(10): 16-21.
- [2] Houghton J T, Ding Y, Griggs J, et al. Climate change 2001: The Scientific Basis Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC [R]. New York: Cambridge University Press, 2001. 881.
- [3] 冯玉祥,何维勋. 霜冻的研究[M]. 北京:气象出版社, 1999. 6.
- [4] 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(增刊): 31-37.
- [5] 郑广芬,陈晓光,孙银川,等. 近40年宁夏气温、降水、蒸发的变化分析[J]. 宁夏气象, 2005(2): 1-9.
- [6] 纳丽,陈晓光,郑广芬,等. 宁夏近40年极端气温变化特征分析[J]. 宁夏工程技术, 2006, 5(1): 4-7.
- [7] 董永祥,周仲显. 宁夏气候与农业. [M]. 银川:宁夏人民出版社, 1986. 4.
- [8] 符淙滨,王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482-493.

Climate Change on Frost in Ningxia Region in Recent 44 Years

TANG Jing^{1,2}, ZHANG Wenyu¹, ZHAO Guangping³, BA IQingmei¹, WANG Jianying², ZHANG Zhi³

(1. Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province; College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. Wuzhong Meteorological Bureau, Wuzhong 751100, China; 3. Ningxia Meteorological Observatory, Yinchuan 750002, China)

Abstract: The variation characteristics of frost times and period in Ningxia region from 1961 to 2004 were analyzed. The results show that frost occurring in Ningxia was mainly in April and October, and the frost times was most in the second ten-day of April; in the south and north of Ningxia region, the frost times was different significantly, and frost occurred frequently in mountainous region of South Ningxia; the annual mean frost times there was 8.7-10.8 times, and frost times was least in Tongxin for only 2.1 times. The frost times presented decreasing trend as a whole and it was obvious in June and autumn. The abrupt of frost times occurred in 1984, and after 1984 the frost times reduced significantly. The first frost date was delayed and the last frost date advanced, as well as the frostless period was extended gradually in the three areas of Ningxia region.

Key words: frost; times; first (last) frost date; variation character