

# 1961—2010年宁夏无霜期变化特征

张磊<sup>1,2</sup>, 张晓煜<sup>1,2</sup>, 李红英<sup>1,2</sup>, 袁海燕<sup>1,2</sup>, 王静<sup>1,2</sup>

1. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川 750002; 2. 宁夏气象科学研究所, 宁夏 银川 750002

**摘要:** 利用 1961—2010 年宁夏全区 20 个气象站的逐日最低气温资料, 根据霜冻气候指标计算了各站逐年的无霜期。采用基础统计方法和气候诊断分析方法, 研究了宁夏全区及不同区域的无霜期基本特征和变化趋势。结果表明: 近 50 年来宁夏无霜期的空间差异明显, 多年平均无霜期最长达 166 d (吴忠站), 最短仅有 117 d (隆德站), 空间差异最大为 49 d; 从时间上分析, 1972 年全区平均无霜期最短, 只有 121 d, 2000 年和 2001 年最长, 达 167 d, 年际间最大相差 46 d; 在 3 个区域中, 多年平均无霜期以及 80% 和 90% 保证率的界限值均是引黄灌区 > 中部干旱带 > 南部山区; 近 50 年来, 全区平均无霜期以 4.7 d/10 a 的速率延长, 3 个区域的无霜期均呈延长趋势, 其中南部山区的延长速率最快, 达 5.8 d/10 a; 全区的无霜期在 1982 年发生突变, 其中引黄灌区和中部干旱带的突变年与全区一致, 南部山区的突变年提前了 2 年; 从年代际看, 20 世纪 70 年代的平均无霜期最短, 21 世纪初的最长, 两个年代相差 20 d。宁夏无霜期呈现明显延长趋势, 这与 1961 年以来宁夏平均气温明显升高的趋势保持一致, 春、秋季的平均气温均在升高使得终霜日提前、初霜日推迟是无霜期延长的主要原因。如果不考虑其他因素, 无霜期延长对宁夏的农业生产较为有利。

**关键词:** 无霜期; 变化特征; 气候诊断

**中图分类号:** S161

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-5906 (2013) 05-0801-05

**引用格式:** 张磊, 张晓煜, 李红英, 袁海燕, 王静. 1961—2010 年宁夏无霜期变化特征[J]. 生态环境学报, 2013, 22(5): 801-805.  
ZHANG Lei, ZHANG XiaoYu, LI HongYing, YUAN HaiYan, WANG Jing. Characteristics of frost-free days changes over Ningxia from 1961 to 2010 [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(5): 801-805.

霜冻是宁夏最常见的农业气象灾害之一<sup>[1]</sup>, 每年都有不同程度的发生, 经常给本区农业造成巨大损失。无霜期, 也称无霜冻期, 即春季最后 1 次霜冻至秋季第 1 次霜冻之间的天数。由于每年的气候情况不全相同, 出现终霜和初霜的日期有早有晚, 每年的无霜期并不一致。无霜期在农业上是个非常重要的热量指标<sup>[2]</sup>, 与农作物生长关系密切。无霜期长, 农作物生长期也长, 并且通常情况下无霜期越长, 农作物遭受霜冻害的概率及程度就越低, 反之亦然, 但不绝对。一个地区无霜期的长短及其时空等变化特征会对当地作物种类、农业产业分布、产量和品质等产生重要影响。对于无霜期的变化特征, 国内学者做过大量研究, 如叶殿秀等<sup>[3]</sup>利用 1961—2007 年我国 577 个测站的逐日最低气温资料分析指出, 近 47 年全国平均无霜冻期延长, 并且自 20 世纪 80 年代起明显延长。王建源等<sup>[4]</sup>研究了山东省 1961—2009 年的无霜期时空动态变化特征后发现, 山东全省无霜期在 49 年间有明显增加趋势, 倾向率为 4.6 d/10 a。范晓辉等<sup>[5]</sup>分析了山西省 108 个地面气象站 1959—2008 年的无霜期资料后得出, 有 87 个站的无霜期延长, 从全省来看无霜期显著延

长, 延长幅度为 3.72 d/10 a。杜军等<sup>[6]</sup>的研究结果表明, 拉萨 1954—1988 年无霜期缩短, 1989 年后无霜期延长, 其中 20 世纪 50 年代的无霜期最长。陈芳等<sup>[7]</sup>、何维勋等<sup>[8]</sup>、张旭晖等<sup>[9]</sup>分别对青海、北京和江苏省的无霜期变化特征进行了研究。在宁夏本区, 唐晶等<sup>[10]</sup>、陈豫英等<sup>[11]</sup>在研究本区霜冻变化规律时, 分别对 1961—2004 年和 1961—2007 年的无霜期进行了初步分析。

本文采用 1961—2010 年宁夏全区 20 个气象台的无霜期资料, 详细分析了近 50 年无霜期分布规律、时空变化特征, 研究结果可为本区农业产业合理布局、结构调整和农业防灾减灾提供参考, 对保障农业稳定持续发展具有重要意义。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料来源

所用资料为宁夏 20 个气象台站 1961—2010 年的逐日最低气温资料, 包括陶乐站、惠农站、平罗站、贺兰站、银川站、永宁站、灵武站、吴忠站、青铜峡站、中宁站、中卫站、盐池站、同心站、兴仁站、海原站、麻黄山站、固原站、西吉站、隆德站和泾源站, 这 20 个气象台站的观测资料序列长、

**基金项目:** 科技部公益性行业 (气象) 科研专项 (GYHY201206023); 2011 年度宁夏回族自治区科研院所专项

**作者简介:** 张磊 (1974 年生), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事农业气象、农业生态学等方面的研究。E-mail: zhle.131@163.com

**收稿日期:** 2013-02-05

并且较为完整,绝大多数分布在不同县级行政区域,具有较好的代表性。以日最低气温 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ 作为霜冻气候指标,1年中的无霜期指当年春季终霜日至秋季初霜日之间的持续时间,以天数表示。依据确定的霜冻指标,利用各站的逐日最低气温资料统计无霜期天数。

## 1.2 区域划分

根据气候地理条件、农牧业分布和生态环境状况以及传统习惯,把宁夏划分为3个区域:(1)北部引黄灌区,也称引黄灌区,主要包括黄河宁夏段的两岸地区。涉及的气象台站11个:陶乐站、惠农站、平罗站、贺兰站、银川站、永宁站、灵武站、吴忠站、青铜峡站、中宁站和中卫站。该区域年均降水量多在180~200 mm,干旱少雨、蒸发强烈,但由于地势平坦,又得黄河自流灌溉之利,自古以来沟渠纵横,农业生产活动极为活跃,以占全区1/3的耕地面积生产了3/4的粮食,农业产值占全区的87%,是宁夏农业的精华和核心地带。(2)中部干旱带,位于引黄灌区以南、六盘山山地以南。涉及的气象台站5个:盐池站、同心站、兴仁站、海原站和麻黄山站。该区域年均降水量多在250~400 mm,干旱少雨,生态系统脆弱,作物产量低而不稳。(3)南部山区,位于宁夏最南端,主要为六盘山山地和黄土丘陵区,包括固原市四县一区的绝大部分地区。涉及的气象台站有4个:固原站、西吉站、隆德站和泾源站。该区域年均降水量多在400~600 mm,为半干旱半湿润区,是宁夏主要的旱作农业区。

## 1.3 方法

采用极差、变异系数描述无霜期变异情况;用气候倾向率描述无霜期变化趋势;用正态分布理论(均方差法)计算无霜期保证率,并用频率表法进行验证;用累积距平法进行气候突变点的初步判断。

### 1.3.1 变异幅度

极差:记作  $R$ ,为样本中最大观察值与最小观察值的差数,与样本的单位相同。

变异系数:记作  $CV$ ,为该样本的标准差对平均数的百分数,计算公式为

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \quad (1)$$

以%表示,其中: $s$ 为样本的标准差, $\bar{x}$ 为样本的平均数。

### 1.3.2 保证率

即累积频率,是指小于等于或大于等于某要素值出现的概率。根据农业生产实际情况,无霜期的保证率是指大于等于某界限值出现的概率,一般要

在80%以上,对于部分效益高的经济林果,保证率要在90以上,本文分析80%和90%保证率下的无霜期界限值。

首先计算了各站无霜期样本序列的偏度系数和峰度系数,进行正态检验发现各站的无霜期样本资料均符合正态分布,因此可采用均方差法计算各保证率下的无霜期界限值:80%保证率界限值为样本平均值减去0.84倍的标准差,90%保证率界限值为样本平均值减去1.28倍的标准差。计算完后用频率表法进行相互印证。

### 1.3.3 气候倾向率

其可反映气候因子的变化趋势,由一元线性趋势方程表示:

$$x_t = a_0 + a_1 t \quad (2)$$

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年的变化率。

### 1.3.4 突变检验

用累积距平法,制作无霜期的累积距平折线图,根据累积距平图对无霜期转折年进行初步判断。以初步判断出的转折年为基准年,构造前后两段子序列,依据文献[12]给出的气候突变的  $t$ -检验方法,检验转折年的突变情况。

## 2 结果和分析

### 2.1 基本特征和保证率

#### 2.1.1 基本特征

从近50年宁夏20个台站的无霜期统计资料看(表1),全区平均无霜期为150 d,最短117 d(隆德),最长166 d(吴忠),两者相差49 d,空间差异非常明显。从每年全区各站平均无霜期资料分析,最短为121 d(1972年),最长为167 d(2000年和2001年),相差46 d,时间差异也非常明显。特别是1972年的秋霜冻最为严重,全区有上百万亩农作物遭受严重冻害,经济损失巨大。

3个区域中,引黄灌区的多年平均无霜期最长,为159 d,中部干旱带次之,为148 d,南部山区最短,只有127 d,地区间最多相差32 d;但变异情况大致反向,引黄灌区的平均极差和变异系数最小,中部干旱带的平均极差最大、变异系数居中,南部山区的平均极差居中、变异系数最大。这表明,仅从无霜期的特征考虑,宁夏北部的引黄灌区无霜期长并且变化幅度相对小,非常适宜农业生产;而宁夏的中南部地区特别是南部山区的无霜期短且变异幅度相对大,限制了农业的稳定持续发展。

#### 2.2.2 保证率

利用各站近50年无霜期序列资料,采用均方差法计算了80%和90%保证率的无霜期界限值(表1),并且用频率表法进行了验证,两者的结果符合

表 1 1961—2010年无霜期基本统计特征值  
Table 1 Statistical feature of frost-free days during 1961—2010

区域	站点	平均数/d	标准差/d	极差/d	变异系数/%	80%保证率界限值/d	90%保证率界限值/d	
引黄灌区	陶乐	151	16.4	68	10.9	137	130	
	惠农	153	14.4	53	9.4	141	134	
	平罗	160	15.4	69	9.6	147	140	
	贺兰	161	14.6	59	9.0	149	142	
	银川	164	14.8	64	9.0	152	145	
	永宁	161	15.7	78	9.8	147	141	
	灵武	151	13.2	60	8.7	140	134	
	吴忠	166	18.8	80	11.4	150	142	
	青铜峡	161	15.0	71	9.3	149	142	
	中宁	161	14.1	63	8.7	149	143	
	中卫	156	16.0	69	10.3	143	135	
	平均	159	15.3	67	9.6	146	139	
	中部干旱带	盐池	144	15.9	61	11.1	131	124
		同心	160	15.2	86	9.5	147	141
兴仁		131	18.6	69	14.3	115	107	
海原		153	16.5	81	10.8	139	132	
麻黄山		152	15.4	79	10.1	139	132	
平均		148	16.3	75	11.2	134	127	
南部山区	固原	134	17.5	73	13.1	119	111	
	西吉	122	14.8	62	12.1	110	103	
	隆德	117	17.7	80	15.2	102	94	
	泾源	137	15.5	78	11.3	124	117	
	平均	127	16.4	73	12.9	114	107	
全区	总平均	150	15.8	70	10.6	136	130	

程度较高(相关系数高达 0.99, 平均绝对差值为 1.6 天), 表明均方差法的结果较为可靠。按 80%保证率计算, 无霜期界限值最长 152 d(银川), 最短 102 天(隆德), 相差 50 d, 从区域上看, 引黄灌区>中部干旱带>南部山区。按 90%保证率计算, 无霜期界限值最长 145 d(银川), 最短 94 d(隆德), 相差 51 d, 从区域上看也是引黄灌区>中部干旱带>南部山区。

## 2.2 无霜期变化趋势

一元线性回归分析表明, 20 个站中有 16 个站的无霜期延长趋势显著(通过 0.05 显著水平检验, 下同), 其中 14 个站的延长趋势极显著(通过 0.01 显著水平检验, 下同); 灵武、青铜峡、中宁和麻黄山 4 个站的无霜期变化趋势不显著。

整体分析, 近 50 年来全区平均无霜期变化极显著, 呈延长趋势, 倾向率为 4.7 d/10 a。3 个区域的无霜期也呈现极显著延长趋势, 与全区总体趋势一致, 但各自的倾向率不同: 南部山区的倾向率最大, 达 5.8 d/10 a, 引黄灌区次之, 为 4.6 d/10 a, 中部干旱带最小, 为 4.2 d/10 a(图 1)。

## 2.3 无霜期年代际变化

表 2 是宁夏全区及各区域不同年代的无霜期变化情况。全区的平均无霜期在 20 世纪 70 年代(此处指 1971—1980 年, 下同)最短, 21 世纪初最长, 20 世纪 60 和 70 年代无霜期均短于 50 年平均, 而自 20 世纪 80 年代后的 3 个时代平均无霜期均长于

50 年平均。3 个区域的无霜期年代际变化规律与全区的整体情况类似, 唯一不同的是引黄灌区上世纪 80 年代的无霜期与 50 年的平均相同。以上情况表明, 上世纪 80 年代以前宁夏处于一个无霜期偏短的时期, 农业生产形势相对较差, 自 80 年代开始无霜期处于偏长时期, 特别是本世纪初无霜期明显偏长, 对农业生产极为有利。根据以上情况可以初步判断, 全区及 3 个区域的无霜期突变极可能发生在上世纪的 80 年代, 具体的年份需要进一步研究。

## 2.4 无霜期突变分析

图 2 是宁夏全区及各区域无霜期累积距平折线图。从中可以发现, 全区无霜期累积距平在 1982 年发生了转折, 之前呈现减少趋势, 之后呈现增加趋势, 初步表明无霜期的突变可能发生在 1982 年前后。3 个区域中, 引黄灌区和中部干旱带的无霜期累积距平趋势与全区总的趋势极为相似, 1982 年以前呈现减少趋势, 1982 年后呈现逐步增加趋势, 表明突变年也可能发生在 1982 年。南部山区与其他 2 个区域的有所不同, 其无霜期累积距平的转折点出现在 1980 年, 在 1980 年前呈现减少趋势, 1980 年后逐步增加, 其无霜期的可能突变年比引黄灌区和中部干旱带的提前了约 2 年。根据距平累积曲线图观测到的转折年为基准年, 按全区(基准年、引黄灌区、中部干旱带、南部山区分别构造了前后两个无霜期子序列,  $t$  检验结果表明, 在显著水平为 0.01 情况下, 4 个地区的前后 2 个无霜期子序列的

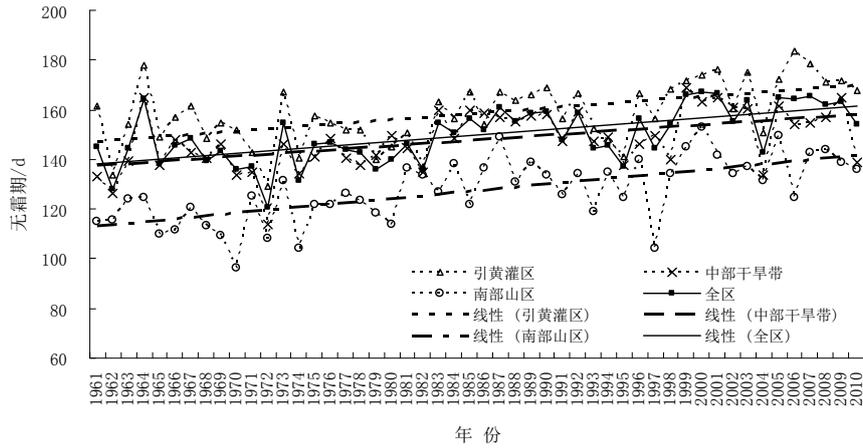


图1 1961—2010年宁夏全区及各区域无霜期变化趋势

Fig.1 Change trend of frost-free days over NingXia during 1961—2010

表2 宁夏全区及各区域不同年代无霜期统计特征值

Table 2 Statistical feature of frost-free days in each decade in Ningxia

时间	引黄灌区		中部干旱带		南部山区		全区	
	均值/d	距平/d	均值/d	距平/d	均值/d	距平/d	均值/d	距平/d
1961—1970	155	-4	141	-7	114	-13	143	-7
1971—1980	148	-11	139	-9	119	-8	140	-10
1981—1990	159	0	153	5	135	8	153	3
1991—2000	160	1	151	3	132	5	152	2
2001—2010	171	12	155	7	138	11	160	10
50年平均	159		148		127		150	

此处距平为各年代的平均无霜期与50年平均无霜期的差值

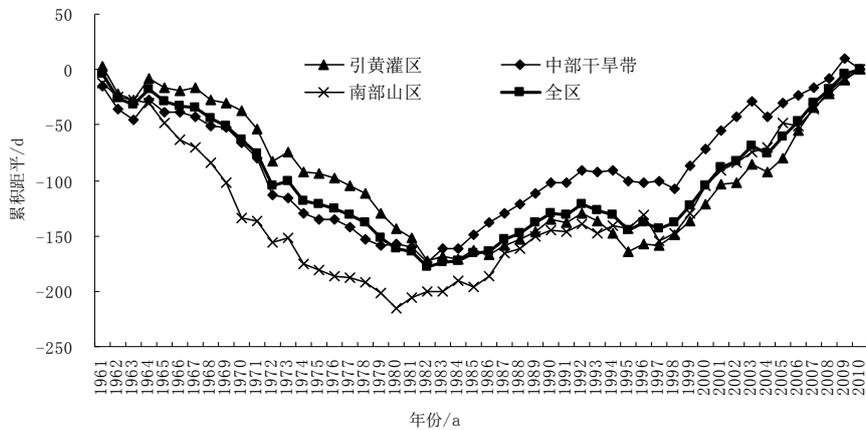


图2 1961—2010年宁夏全区及各区域无霜期距平累积曲线

Fig.2 cumulative-departure curve of frost-free days over NingXia during 1961—2010

平均值均存在差异, 这表明总体上宁夏的无霜期突变发生在 1982 年, 同时引黄灌区和中部干旱带的无霜期突变也发生在 1982 年, 而南部山区的无霜期突变年出现在 1980 年, 比其他地区提前了 2 年。

### 3 结论

1) 近 50 年 (1961—2010) 宁夏无霜期的空间、时间差异明显。从空间上看, 多年平均无霜期最长达 166 d, 最短仅有 117 d, 两者相差 49 d。从时间上分析, 1972 年全区平均无霜期最短, 只有 121 d,

2000 年和 2001 年最长, 达 167 d, 相差 46 d。在 3 个区域中, 引黄灌区的多年平均无霜期最长, 中部干旱带次之, 南部山区最短, 但变异情况大致反向。从无霜期的特征考虑, 宁夏北部的引黄灌区更适宜农业生产。

2) 从无霜期 80% 和 90% 保证率的界限值看, 最长的为银川, 最短的是隆德, 相差分别为 50 和 51 d。从区域上看, 引黄灌区 > 中部干旱带 > 南部山区。

3) 在近 50 年中, 多数站点无霜期延长趋势明显, 全区无霜期延长倾向率为 4.7 d/10 a。分区域看, 南部山区延长倾向率最大, 引黄灌区次之, 中部干旱带最小。总体分析, 宁夏无霜期突变出现在 1982 年前后, 其中引黄灌区和中部干旱带的突变情况与全区整体情况一致, 但南部山区的突变年提前了约 2 年。

4) 全区平均无霜期在 20 世纪 70 年代最短, 21 世纪初最长, 20 世纪 60 和 70 年代无霜期均短于近 50 年平均, 而自 20 世纪 80 年代后的 3 个时代平均无霜期均长于 50 年平均。3 个区域的无霜期年代际变化规律与全区的整体情况类似。

近 50 年来宁夏无霜期呈现明显延长趋势, 这与 1961 年以来宁夏平均气温明显升高的趋势<sup>[13]</sup>保持一致, 春、秋季的平均气温均在升高使得终霜日提前、初霜日推迟是无霜期延长的主要原因。如果不考虑其他因素, 无霜期延长对宁夏的农业生产较为有利: 中晚熟的作物品种适宜种植区域扩大, 作物单产增加, 复种指数提高等等。特别是 20 世纪 80 年代以后, 无霜期延长趋势更明显, 近年来引黄灌区开展的“冬小麦复种插秧稻、冬小麦复种青贮玉米”等一年两熟制试验推广即是积极利用这种有利变化的重要举措。当然, 在全区无霜期延长的大背景下, 还存在着部分年份甚至部分年代无霜期偏

短的情况, 使得热量资源难以满足部分作物正常生长发育需要, 给农业生产带来较大不利影响。

#### 参考文献:

- [1] 董永祥, 周仲显. 宁夏气候与农业[M]. 银川: 宁夏人民出版社, 1986: 59.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 王建源, 赵红, 胡桂芳, 等. 基于 GIS 的山东省无霜期时空动态变化特征[J]. 中国农学通报, 2011, 27(6): 301-307.
- [5] 范晓辉, 王麒麟, 王孟本. 山西省近 50 年无霜期变化特征研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(10): 2393-2397.
- [6] 杜军, 向毓意. 近 40 年拉萨霜期变化的气候特征分析[J]. 应用气象学报, 1999, 10(3): 379-383.
- [7] 陈芳, 汪青春, 殷万秀. 青海省近 45 年霜冻变化特征及其对主要作物的影响[J]. 气象科技, 2009, 37(1): 35-41.
- [8] 何维勋, 冯玉香, 曹永华, 等. 北京近 50 年初、终霜冻日的变化[J]. 中国农业气象, 1992, 18(4): 33-36.
- [9] 张旭晖, 居为民, 霍金兰, 等. 江苏省近 48 年无霜期时空演变特征[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(4): 454-457.
- [10] 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.
- [11] 陈豫英, 陈楠, 张晓煜. 宁夏农业区霜冻出现规律分析[J]. 宁夏农林科技, 2001(3): 32-35.
- [12] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2 版. 北京: 气象出版社, 2007: 63.
- [13] 桑建人, 陈楠, 杨侃, 等. 宁夏气温变化趋势及环流差异特征分析[J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(1): 128-133.

## Characteristics of frost-free days changes over Ningxia from 1961 to 2010

ZHANG Lei<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiaoyu<sup>1,2</sup>, LI Hongying<sup>1,2</sup>, YUAN Haiyan<sup>1,2</sup>, WANG Jing<sup>1,2</sup>

1. Ningxia Key Lab for Meteorological Disaster Prevention and reduction, Yinchuan 750002, China;

2. Ningxia Meteorological Science Institute, Yinchuan 750002, China

**Abstract:** Based on the daily minimum temperature data at 20 meteorological stations over Ningxia from 1961 to 2010, the frost-free days are calculated according to the climatic index on frost day. Using basic statistical methods and analyzing methods of climatic diagnosis, the climate characteristics and changes trend of frost-free days were studied. The results showed that the spatial distribution of frost-free days was obvious difference: the longest is 166 days (Wuzhong weather station), and the shortest is only 117 days (Longde weather station), the biggest difference of temporal distribution was 49 d; The temporal distribution of frost-free days was also obvious difference: The shortest is in 1972 (17 days), the longest is in 2000 and 2001 (167 days), and the shortest is only 117 days (Longde weather station). The biggest spatial distribution's was 46 d. The sort order of the average annual frost-free days, frost-free days under 80% and 90% of the guaranteed-rate all were Yellow river irrigation area > Middle dry area > South mountain area. In recent 50 years, the frost-free days of Ningxia was lengthening with a tendency of 4.7 days per 10 years. Meanwhile the frost-free days of three regions all was obvious lengthening trend, and South mountain area's lengthening rate was the highest among them, up to 5.8 days per 10 years. Mutation of the frost-free days appeared in 1982 over Ningxia. Among three regions, Yellow river irrigation area and Middle dry area's mutation was the same, South mountain was 2 years in advance. Study of decadal changes of frost-free showed the longest frost-free days occur at 70s of the 20 century, and the shortest in early 21 century, a difference of 20 days. The reasons for lengthening of frost-free days was that the first frost days was postponed, meanwhile the last frost day was earlier. On the whole, lengthening of frost-free days was more favorable for Ningxia's agricultural production.

**Key words:** frost-free days; characteristics of changes; climatic diagnosis