

# 青海省近 45 年霜冻变化特征及其对主要作物的影响

陈芳 汪青春 殷万秀

(青海省气候中心, 西宁 810001)

**摘要** 利用青海省 22 个地面气象站 1961~2005 年霜冻气候资料及日最低气温资料, 对东部农业区、柴达木盆地等地的霜冻气候变化特征以及对主要作物的影响进行研究。结果表明: 45 年来, 青海省大部分地区早(秋)霜冻初日推迟, 晚(春)霜冻终日提前, 无霜冻期延长。东部农业区霜冻初日推迟、终日提前的趋势最为明显, 柴达木盆地次之, 祁连山地区和青南高原霜冻初日推迟趋势较明显, 而终日提前趋势不明显; 大部分地区重霜冻频数减少, 强度减弱, 春霜冻期低温强度变化趋势较秋霜冻期明显; 气候变暖使早霜冻危害减轻, 晚霜冻危害加重。

**关键词** 青海高原 霜冻 农作物 影响

## 引言

青海省主要农牧业区平均海拔高度在 2600 m 以上, 无霜冻期较短, 霜冻是农业的主要灾害之一。45 年来, 尽管青海省的气候条件因受全球气候变暖的影响也相应发生了较明显的变化, 但是, 冷空气活动在春秋仍频频发生, 作物受霜冻的潜在危险仍存在。近几十年间, 受霜冻冷害农田面积在 2 万  $\text{hm}^2$  以上的年份有数 10 年以上<sup>[1]</sup>。因此, 利用最新资料分析全省主要农牧业区霜冻的气候变化规律及其对农牧业生产的影响具有一定现实意义<sup>[2~7]</sup>。

## 1 资料和方法

秋季出现的霜冻为早(秋)霜冻, 春季出现的霜冻为晚(春)霜冻。秋季开始发生霜冻的第 1 日称初霜冻日, 春季最后发生霜冻的一日称终霜冻日。限于地表(0 cm)温度  $T \leq 0^\circ\text{C}$  资料较难以获得, 本文取霜冻指标为: 日最低气温  $T \leq 2^\circ\text{C}$  的日期作为霜冻期, 以下半年日最低气温第 1 次出现  $T \leq 2^\circ\text{C}$  的日期为初霜冻日, 次年上半年日最低气温最后一次出现  $T \leq 2^\circ\text{C}$  的日期为终霜冻日, 以终霜冻日的次日至初霜冻日前一日之间的天数为无霜冻期。

根据以上指标, 选取青海省主要农牧业区民和、循化、乐都、尖扎、贵德、西宁、大通、互助、同仁、湟源、化隆、同德、贵南、共和、门源、河南、兴海、泽库、

德令哈、诺木洪、格尔木和都兰 22 个站点(图 1)近 45 年霜冻初日和终日资料, 统计分析各站霜冻初、终日和无霜冻期时间变化特征。利用农牧业重霜冻区和全年霜冻区代表站互助、都兰、门源和泽库近 45 年的逐日最低气温资料, 分别统计不同温度段( $\leq -2^\circ\text{C}$ 、 $\leq -1^\circ\text{C}$ 、 $\leq 0^\circ\text{C}$ 、 $\leq 1^\circ\text{C}$ 、 $\leq 2^\circ\text{C}$ )出现频率以及年代际变化, 并分析互助霜冻期不同温度段出现频率的趋势, 以示霜冻强度的变化趋势。

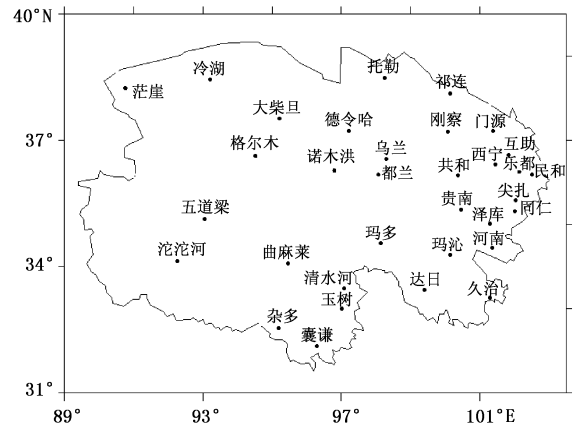


图 1 青海省气象站点分布

## 2 结果分析

### 2.1 霜冻的空间分布

青海省地域辽阔, 地形复杂, 气候寒冷, 霜冻的时空分布不均匀, 强度及初终期差异也较大。一般

情况,早(秋)霜冻开始出现时间,随海拔高度、纬度的增高而提前,反之则推迟;晚(春)霜冻终止时间,随海拔高度、纬度的降低而提前,反之则推迟。

### 2.1.1 霜冻初、终日的空间分布

表1统计结果显示:早(秋)霜冻最早初日8月

1日,最晚10月25日,平均初日为9月6日,晚(春)霜冻最早终日4月2日,最晚7月31日,平均终日为6月11日。海拔较低的东部农业区霜冻初日相对较晚,终日较早。

表1 青海省22个气象站晚霜冻结束、早霜冻开始日期及无霜期天数

站名	海拔/m	无霜期/d	晚(春)霜冻			早(秋)霜冻		
			最早终日	最晚终日	平均终日	最早初日	最晚初日	平均初日
民和	1814.8	160	4月8日	6月8日	4月29日	9月3日	10月24日	10月7日
循化	1870.2	164	4月7日	5月17日	4月28日	9月18日	10月25日	10月10日
乐都	1981.7	149	4月12日	6月3日	5月6日	8月26日	10月17日	10月3日
尖扎	2086.5	156	4月2日	7月23日	5月1日	8月1日	10月18日	10月6日
贵德	2238.1	126	4月24日	7月30日	5月21日	9月14日	10月11日	9月25日
西宁	2296.2	138	4月20日	6月30日	5月13日	9月14日	10月19日	9月30日
平均1	2047.9	149	4月12日	6月23日	5月6日	9月2日	10月19日	10月3日
大通	2451.8	68	5月11日	7月30日	6月23日	8月1日	10月5日	8月31日
互助	2480.8	67	5月21日	7月28日	6月22日	8月1日	10月8日	8月30日
同仁	2492.3	129	4月23日	7月16日	5月19日	8月30日	10月14日	9月26日
湟源	2635.3	38	5月24日	7月31日	7月9日	8月1日	9月28日	8月17日
平均2	2515.1	76	5月12日	7月26日	6月18日	8月8日	10月6日	9月2日
诺木洪	2791.6	103	5月7日	6月18日	5月28日	8月6日	10月2日	9月9日
格尔木	2808.9	112	4月29日	7月26日	5月26日	8月5日	10月9日	9月16日
化隆	2835.7	76	5月21日	7月27日	6月15日	8月1日	10月2日	8月31日
共和	2836.0	99	5月6日	7月25日	6月1日	8月9日	10月3日	9月10日
门源	2848.5	15	6月26日	7月31日	7月23日	8月1日	9月6日	8月7日
德令哈	2982.4	97	5月10日	7月14日	6月4日	8月4日	10月2日	9月10日
平均3	2850.5	84	5月16日	7月18日	6月10日	8月4日	9月29日	9月3日
同德	3084.0	16	6月7日	7月31日	7月22日	8月1日	9月5日	8月8日
贵南	3118.7	49	5月24日	7月30日	7月2日	8月2日	9月14日	8月21日
都兰	3190.5	91	5月21日	7月10日	6月8日	8月6日	9月28日	9月8日
兴海	3324.0	31	5月26日	7月31日	7月16日	8月1日	9月1日	8月12日
河南	3501.0	9	7月12日	7月31日	7月26日	8月1日	8月20日	8月4日
泽库	3663.8	4	7月21日	7月31日	7月29日	8月1日	8月13日	8月3日
平均4	3313.7	33	6月13日	7月27日	7月12日	8月2日	9月3日	8月14日

注:平均1、平均2、平均3、平均4分别为不同海拔高度段地区的平均值。

### 2.1.2 无霜冻期天数的空间分布

青海地貌复杂多样,各地无霜冻期差异较大,极差达到160天。从表1可见,无霜冻期地理分布基本上随着海拔高度的增高和地区寒冷季节的增长而缩短。海拔高度2200 m左右及以下地区无霜冻期最长,有126~164天,2400~2600 m地区有38~129天,2700~2900 m地区有15~112天,3000 m以上地区有4~91天。门源、同德、泽库、河南等地的无霜冻期均不足20天,泽库、河南仅有4~9天的无

霜冻期,如此短暂的无霜冻期对农牧业生产并无太大的实际意义,事实上,这些地区并无严格的无霜冻期,可为全年有霜冻。

## 2.2 初、终霜冻日及无霜冻期时间变化特征

### 2.2.1 早(秋)霜冻初日推迟

以东部农业区互助(36.8°N,102.0°E)、柴达木盆地都兰(36.3°N,98.1°E)、青海湖北部门源(37.4°N,101.6°E)和青南地区泽库(35.0°N,101.5°E)为代表站,分析各地霜冻初日的年际和年

代际变化(图 2)显示:45 年来,互助、都兰、门源和泽库早(秋)霜冻初日分别以不同气候倾向率推迟,除

泽库外,互助变化趋势的显著水平达到 0.001、都兰、门源达到 0.02。

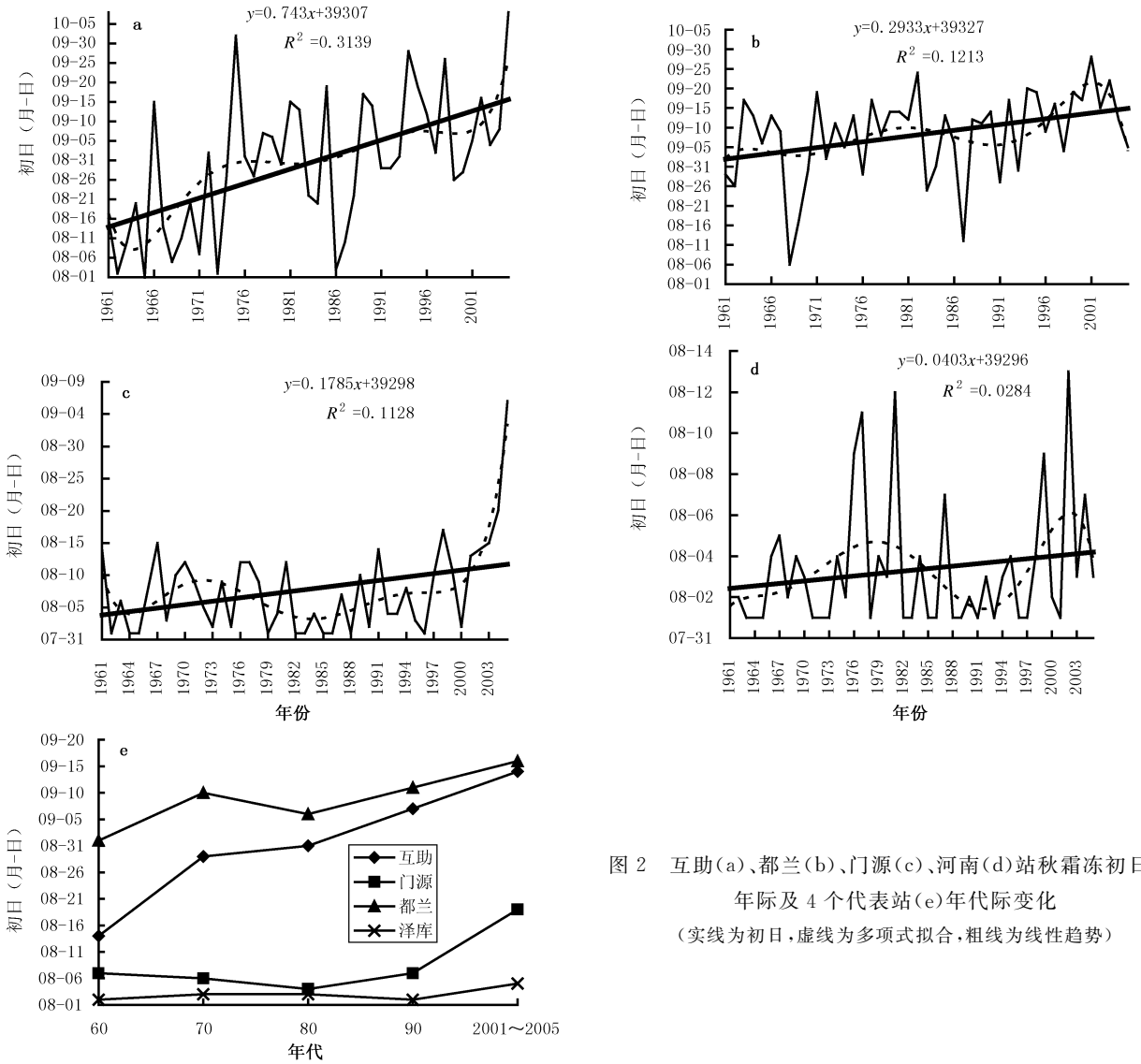


图 2 互助(a)、都兰(b)、门源(c)、河南(d)站秋霜冻初日年际及 4 个代表站(e)年代际变化(实线为初日,虚线为多项式拟合,粗线为线性趋势)

从图 2e 的年代际变化中可知,互助、都兰秋霜冻初日 60 年代出现最早,70、80 年代变化各异,90 年代开始较一致的明显推迟。门源 80 年代偏早,90 年代明显推迟,而泽库 60、90 年代偏早,进入 21 世纪后推迟。4 站中都兰霜冻初日较其它站偏晚。

### 2.2.2 晚(春)霜冻终日提前

同样以 4 个代表站为例,分析各地霜冻终日的年际和年代际变化(图 3)显示:45 年来,互助终日提前最为明显,其显著水平达到 0.001,都兰次之;门源、泽库呈现出微弱的提前趋势。

冻终日进入 21 世纪以后较明显提前;互助终日逐年代提前,70、90 年代变化明显。门源晚(春)霜冻终日 80 年代最晚,90 年代后提前。4 站中,都兰各年代终日较其它站偏早。

### 2.2.3 大部分地区无霜冻期延长

东部农业区海拔相对较低的地区(民和、循化等)无霜期天数随年代波动变化,同年代增减变化趋势较一致,其它地方表现出一致增长态势,90 年代后增长较明显。柴达木盆地宜农区无霜冻期天数依年代的变化一致在增长。青南高原、祁连山地区,无霜冻期天数在缓慢增长的过程中,80 年代一致减

从图 3e 的年代际变化可知,都兰地区晚(春)霜

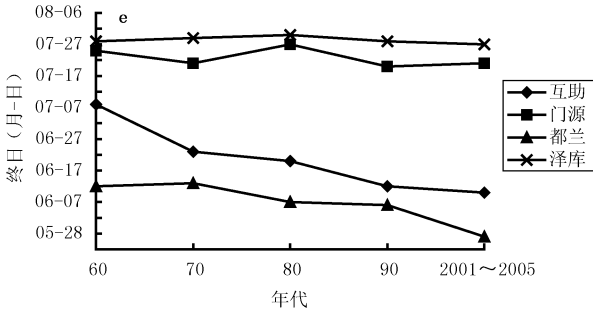
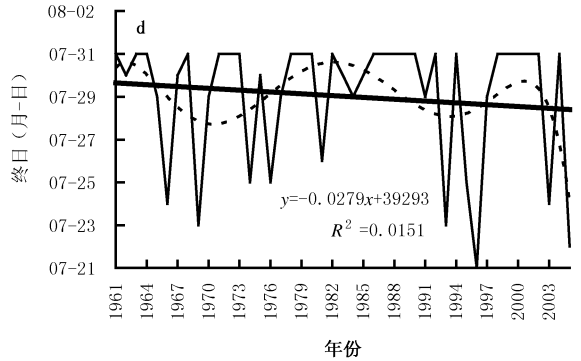
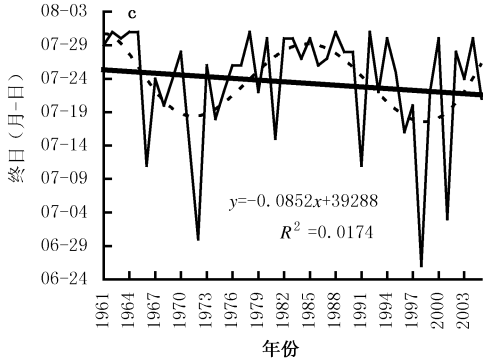
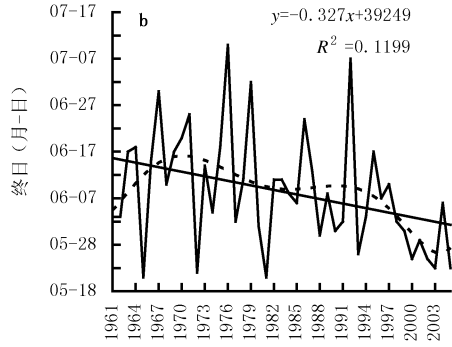
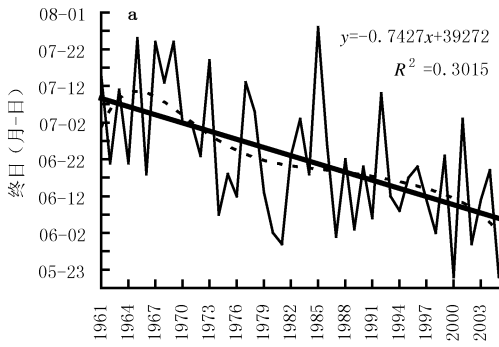


图 3 互助(a)、都兰(b)、门源(c)、河南(d)站晚(春)霜冻终日年际及 4 个代表站(e)年代际变化 (实线为终日,虚线为多项式拟合,粗线为线性趋势)

少,进入 90 年代后大部分地区增加。各地无霜冻期的延长趋势,在进入 20 世纪 80 年代中后期较明显。就全省平均而言,70 年代比 60 年代无霜冻期延长约 9 天,80 年代比 70 年代延长约 2 天,90 年代比 80 年代延长约 10 天,进入 21 世纪后这种变化似乎明显,较短的 5 年(2001~2005 年)之内,无霜冻期就比 90 年代延长约 7 天。

由图 4 可知,互助、都兰无霜冻期逐年代延长,门源无霜冻期在 60~70 年代间基本不变,80 年代缩短,90 年代又开始明显延长,泽库无霜冻期在 60、70、80 年代基本不变,90 年代开始延长,进入 21 世纪后变化较明显。总之,无霜冻期天数普遍自 90 年代开始较明显延长。

2.2.4 秋(早)霜冻、晚(春)霜冻期内低温强度分析  
对互助、都兰、门源和泽库 4 站 1961~2005 年春霜冻期(4~7 月)、秋霜冻期(8~10 月)日最低气

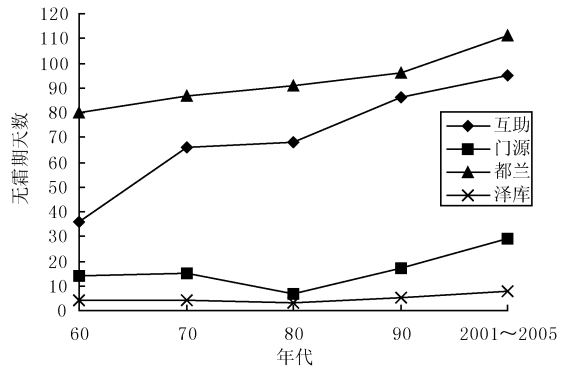


图 4 4 个代表站无霜冻期的年代际变化

温资料,分别统计不同温度段( $\leq -2^{\circ}\text{C}$ 、 $\leq -1^{\circ}\text{C}$ 、 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 、 $\leq 1^{\circ}\text{C}$ 、 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ )的出现频率以及年代际变化(表 2、3),并进一步对互助春、秋霜冻期不同温度频率进行趋势分析(图 5、6)。

表 2 各年代际早(秋)霜冻期日最低气温出现频率

%

年代	$\leq -2\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq -1\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 1\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$	
互助	1961~1970	19.35	7.50	8.37	7.93	7.93
	1971~1980	15.43	4.35	5.87	8.04	4.78
	1981~1990	14.89	4.35	6.41	5.87	7.17
	1991~2000	13.70	4.89	4.35	5.65	6.63
	2001~2005	11.52	4.35	5.43	5.87	4.13
都兰	1961~1970	20.97	5.87	5.33	5.76	5.11
	1971~1980	19.02	4.13	7.07	5.33	5.22
	1981~1990	17.50	4.78	6.20	7.07	5.54
	1991~2000	18.59	4.67	4.78	4.57	5.22
	2001~2005	16.74	4.57	3.91	5.43	3.91
门源	1961~1970	31.09	6.63	8.59	9.35	5.98
	1971~1980	30.54	5.87	5.43	7.07	6.20
	1981~1990	25.65	5.43	9.57	9.67	8.80
	1991~2000	24.02	8.15	7.83	9.13	8.48
	2001~2005	23.48	6.74	4.78	7.17	7.61
泽库	1961~1970	48.03	7.62	8.93	8.03	4.92
	1971~1980	49.75	7.95	8.77	7.45	7.62
	1981~1990	41.48	8.11	8.20	7.79	6.39
	1991~2000	40.00	7.46	8.52	7.79	6.97
	2001~2005	36.39	10.16	9.84	9.02	6.39

表 3 各年代际晚(春)霜冻期日最低气温出现频率

%

年代	$\leq -2\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq -1\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 1\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$	
互助	1961~1970	17.87	5.00	7.79	9.02	8.20
	1971~1980	12.21	5.74	6.56	6.31	7.05
	1981~1990	10.66	5.41	5.49	6.97	6.39
	1991~2000	8.61	5.33	4.75	6.97	4.59
	2001~2005	8.36	2.79	3.93	7.38	6.07
都兰	1961~1970	13.61	3.52	5.08	6.07	7.13
	1971~1980	13.85	3.61	4.26	5.33	6.39
	1981~1990	15.98	4.51	4.26	5.66	5.41
	1991~2000	12.13	4.18	4.75	4.67	4.26
	2001~2005	10.66	4.59	4.43	4.92	7.05
门源	1961~1970	26.31	7.30	10.08	10.98	8.11
	1971~1980	25.49	5.98	9.84	11.31	9.02
	1981~1990	23.69	6.80	7.87	8.77	8.44
	1991~2000	21.64	5.00	6.48	10.41	9.02
	2001~2005	18.20	4.75	5.74	11.31	9.34
泽库	1961~1970	47.72	6.85	7.61	7.17	6.09
	1971~1980	43.80	6.63	7.93	7.39	6.63
	1981~1990	43.70	7.39	9.89	8.26	7.28
	1991~2000	43.04	8.04	7.93	7.50	6.96
	2001~2005	35.87	5.87	7.61	5.87	6.30

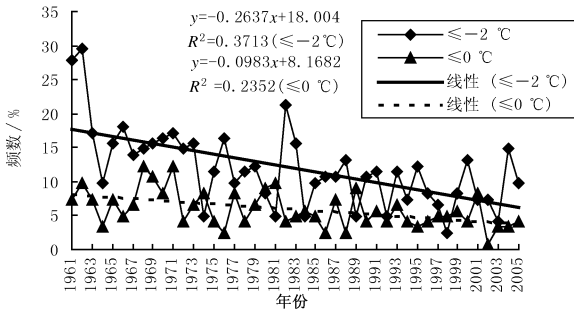


图 5 互助春霜冻期日最低气温出现频率年际变化

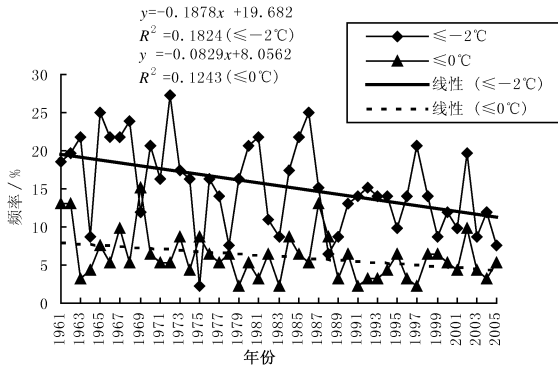


图 6 互助秋霜冻期日最低气温出现频率年际变化

严重霜冻区的互助、都兰在秋霜冻期,日最低气温  $T_{\min} \leq -2^{\circ}\text{C}$  出现频数逐年代依次减少,日最低气温  $T_{\min} \leq -1^{\circ}\text{C}$  出现频数在 60 年代最多,70 年代及以后比较平稳,日最低气温  $T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{\min} \leq 1^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{\min} \leq 2^{\circ}\text{C}$  出现频数随年代际波动变化。由图 5、图 6 可知:互助春、秋霜冻期各温度频率的年际变化显现出不同程度的减少趋势,其中,日最低气温  $T_{\min} \leq -2^{\circ}\text{C}$  出现频率减少趋势表现最为明显,其显著水平达 0.001 以上,表明重霜冻趋于显著减少。在以上年际变化中,春霜冻期变化较秋霜冻期变化明显。

全年霜冻区的门源、泽库在秋霜冻期,日最低气温  $T_{\min} \leq -2^{\circ}\text{C}$  出现频数逐年代减少,近几年减少幅度较大,其它温度段出现频数波动变化。表 2、3 中,门源、泽库各年代日最低气温  $T_{\min} \leq -2^{\circ}\text{C}$  频率较互助、都兰要高,表明海拔较高的北部祁连山地区和青南高原无论在春季还是秋季,发生重霜冻的概率相对较高。

### 2.3 霜冻对农作物的影响分析

气候变暖必然会影响到初、终霜冻期和无霜期的明显变化,20 世纪 80 年代以后,初霜冻出现日期明显推迟,终霜冻出现日期提前,无霜期延长,这为

农牧业生产提供更好的基础条件,作物生长期气温升高,生长发育进程加快,早霜冻的危害减轻,对调整农业品种布局、延长作物生长期、稳定农牧业产量和改进种植结构非常有利,但也存在气候变暖使晚霜冻危害加重的不利影响。青海省东部因受地理环境的制约,霜冻发生频率、范围及危害程度仅次于干旱。4~6 月是东部农业区主要作物春小麦播种、出苗、分蘖、拔节的生长期,尤其是春小麦在抗寒力剧降的分蘖、拔节生长发育期,气温升高,生长发育进程加快,早霜冻危害会明显减少,但春季播种出苗、返青期提前,有可能受到较严重的晚霜冻危害,比如 2004 年 5 月东部区就遭受了严重的晚霜冻灾害。

轻霜冻区(湟水、黄河河谷地区)晚(春)霜冻出现时,正值农作物抗冻能力最强的苗期,而早(秋)霜冻出现时,农作物都已收割,所以该区霜冻对农作物的影响一般不大,但对蔬菜、果树有一定的危害。严重霜冻区(互助、大通、化隆等地)以农业生产为主,晚(春)霜冻出现时,对油菜、马铃薯、豌豆的苗期和蔬菜、果树的生长危害严重。早(秋)霜冻出现较早时对春小麦、青稞的灌浆-乳熟期危害较重,会造成严重减产。

为适应气候变暖及霜冻期的变化,充分利用增加的农业热量资源,减少不利因素带来的损失,增设和改善现有农田灌溉设施,扩大水浇农田面积。大力推行农业生态防治、合理调整作物、品种布局,充分利用自然因素的调节与控制作用,创造有利农作物和牧草生长发育、不利于有害生物滋生繁衍的生态条件,提高复种指数,培育优质高产品种,从作物本身的生理因素上提高对外界气候条件变化的适应性。加强对霜冻灾害的监测能力和预报水平。

### 3 小结

(1)1986 年气候较明显变暖后,青海大部分地区晚(春)霜冻终日提前,早(秋)霜冻初日推迟,无霜冻期延长。年平均无霜冻期在东部农业区平均延长 20 天,柴达木盆地平均延长 19 天,祁连地区和青南高原大部分地区平均延长 6~13 天。就全省平均而言,70 年代比 60 年代无霜期延长约 9 天,80 年代比 70 年代延长约 2 天,90 年代比 80 年代延长约 10 天,进入 21 世纪的短短 5 年内,无霜期天数就比 90 年代延长约 7 天。

(2)除靠近青藏高原边缘地带的共和、循化等地

外,霜冻初日推迟、终日提前的年际变化趋势在东部农业区大部分地区最为明显;柴达木盆地次之;祁连山地区霜冻初日推迟的年际变化趋势相对较明显,而终日提前的变化趋势不明显;青南高原霜冻初日、终日变化趋势不明显。

(3)霜冻频数减少,强度减弱,春霜冻期低温强度变化较秋霜冻期明显。祁连山地区和青南高原,无论在春季还是秋季,发生重霜冻的概率相对较高。

(4)气候变暖,平均最低气温的大幅度升高,使初、终霜冻期和无霜期变化明显,有效积温增加,作物生长期延长,将使农牧业生产潜力增加,秋季增暖明显,早霜冻危害减轻,可进一步提高复种指数,提高土地利用率,冬、春季增温,有利于冬小麦的正常越冬和安全返青。

(5)气候变暖晚(春)霜冻终日提前,会导致晚霜冻危害加重,要大力推行农业生态防治、合理调整作物、品种布局,充分利用自然因素调节与控制作用,增加投入研究气肥(光和热)的可利用率,加强农牧

业气象监测、预测,掌握气候变化的信息,加快农业种植结构的调整,缩短农业对气候变化的适应时段。

## 参考文献

- [1] 王莘,李锡福. 中国气象灾害大典青海卷[M]. 北京:气象出版社, 2007: 198-199.
- [2] 胡毅,李萍,杨建功,等. 应用气象学[M]. 北京:气象出版社, 1992: 27-30.
- [3] 王江山,李锡福. 青海天气与气候[M]. 北京:气象出版社, 2004:112-113.
- [4] 吾加阿布拉·白地,买提斯地克·买提克日木,阿瓦提汗·买吐肉孜. 民丰县近 48 年霜冻特征分析及防御对策[J]. 新疆气象, 2006, 29(4):19-20.
- [5] 陈少勇,孙秉强. 白银市霜冻气候变化及对农业生产的影响[J]. 甘肃科学学报, 2006, 18(4):46-50.
- [6] 买买提·阿布都拉,帕提曼. 和田市近 40 年霜冻的变化规律分析[J]. 新疆农业科学, 2005, 42(增刊):161-163.
- [7] 高永刚,王育光,温秀卿,等. 黑龙江省 43a 初霜冻时空特征分析及对主要作物安全成熟的影响[J]. 黑龙江气象, 2005, (4): 4-6.

# Characteristics of Frost Variation in Recent 45 Years over Qinghai Province and Its Impact on Major Crops

Chen Fang Wang Qingchun Yin Wanxiu

(Qinghai Provincial Climate Center, Xining 810001)

**Abstract:** Using the frost and daily minimum temperature data from 22 ground weather stations in Qinghai Province from 1961 to 2005, the characteristics of frost variation and the main impact on major crops are studied, especially in the Qaidam Basin. The results show that in the past 45 years over the most parts of Qinghai Province, the beginning date of early (autumn) frost postponed, and the ending date of late (spring) frost advanced, most obviously in the eastern agricultural area and then the Qaidam Basin; frost-free periods extended; in the most part of Qinghai Province, the occurrence frequency of heavy frost reduced and the intensity weakened; the intensity variation of spring frost was more obvious than that of autumn frost; and the climate warming mitigated the autumn frost damage and enhanced the spring frost damage.

**Key words:** Qinghai Plateau, frost, crop, impact