

共和盆地界限温度初终日 and 积温对气候变化的响应

赵恒和, 郭连云, 赵年武, 苏 芬, 周秉荣

(青海省海南州气象局, 青海 共和 813000)

摘 要:利用青海省共和盆地海南州气象台 1953—2010 年逐日平均气温,以 5 d 滑动平均法确定稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 3^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初、终日,求算初终日持续日数、活动积温和有效积温,分析界限温度初终日、持续日数和积温的变化,应用 Pearson 函数求算界限温度初终日、初终日期间持续日数、活动积温和有效积温与年平均气温的相关性并建立回归模型。结果表明:共和盆地各级界限温度初日均呈提前趋势,终日均呈推后趋势,初终日持续日数呈增加趋势,活动积温和有效积温均表现为增大趋势;各界限温度初日与年平均气温呈负相关,终日与年平均气温呈正相关,初终日持续日数呈正相关,活动积温和有效积温与年平均气温极显著相关;若年平均气温升高 1°C ,则各界限温度初日提前 3~6 d,终日推迟 3~4 d,各界限温度期间的持续日数延长 6~10 d,活动积温增加 $165\sim 190^{\circ}\text{C}$,有效积温增加 $164\sim 183^{\circ}\text{C}$ 。

关键词:界限温度初终日;活动积温;年平均气温;共和盆地

中图分类号:P468.021

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)04-0207-05

Responses of Initial/Final Date and the Accumulated Temperature Steadily above the Agricultural Threshold Temperature to Climate Change in Gonghe Basin, Qinghai Province

ZHAO Heng-he, GUO Lian-yun, ZHAO Nian-wu, SU Fen, ZHOU Bing-rong

(Meteorological Bureau in Hainan State of Qinghai Province, Gonghe 813000, Qinghai, China)

Abstract: The data of ground-observed diurnal air temperature were used to compute the initial and final dates of $\geq 0^{\circ}\text{C}$, $\geq 3^{\circ}\text{C}$, $\geq 5^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ from 1953 to 2010, as well as the duration days, available accumulative temperature and active accumulative temperature between beginning dates and ending dates, respectively, by using the method of 5 days running mean in Gonghe, Qinghai Province. Furthermore, the tendency of the initial dates, final dates, the available accumulative temperature and active accumulative temperature in recent 60 years were analyzed, and a statistical model was constructed based on the analysis of correlation between these indexes to annual air temperature by the way of Pearson function. The results showed that there were obviously earlier beginning in the initial dates and later ending in the final dates appeared in all of the threshold temperatures, accompanied with this trend, it showed a significantly increasing trend in the duration days, the available accumulative temperature and the active accumulative temperature. It was found that a negative correlation of annual air temperature related to initial dates $\geq 0^{\circ}\text{C}$, $\geq 3^{\circ}\text{C}$, $\geq 5^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$, and a positive correlation with final dates and the duration days, especially significant at 0.001 level with available accumulative temperature and active accumulative temperature. A simulated test was run on basis of a hypothesis of 1°C increment of air temperature in the future, it indicated that the initial dates should begin 3~6 d earlier, final dates should end 3~4 d later, the duration days should extend 6~10 d, and the available accumulative temperature and active accumulative temperature should increase $165\sim 190^{\circ}\text{C}$ and $164\sim 183^{\circ}\text{C}$, respectively.

Key words: initial date and final date; accumulated temperature; climate change; Gonghe Basin

所谓界限温度,即农业界限温度,又叫指标温度,是表明某些重要现象或农事活动开始、终止的温度^[1]。所谓积温,是指某一时段内逐日平均气温累积之和。积温是研究作物生长、发育对热量的要求^[2-7],同时也是评价热量资源的一种指标^[8-9],是某一时段内日平均气温对时间的积分,是经过温度有效性订正的时间进程度量^[10]。积温常分为活动积温和有效积温,活动积温是植物在某时段内活动温度的总和,有效积温是植物在某时段内有效温度的总和^[1,11]。

相关研究表明,海南州共和盆地自 20 世纪 60 年代以来年平均气温以 0.35℃/10 a 的幅度升高。因此,分析共和盆地与农牧业密切相关的界限温度初终日及积温变化规律,可为区域种植业的布局 and 结构调整提供参考。

1 研究方法

1.1 界限温度初终日的确定

气象资料采用海南州气象台 1953—2010 年逐日平均气温资料。根据逐日平均气温,利用 5 d 滑动平均法^[4]确定共和盆地历年各界限温度($\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 3^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$)稳定通过的初日和终日。

1.2 积温的求算方法

$$\text{活动积温: } A_a = \sum_{i=1}^n T_i$$

$$(T_i > B; \text{当 } T_i \leq B \text{ 时, } T_i \text{ 以 } 0 \text{ 计}) \quad (1)$$

$$\text{有效积温: } A_e = \sum_{i=1}^n (T_i - B)$$

$$(T_i > B; \text{当 } T_i \leq B \text{ 时, } T_i - B \text{ 以 } 0 \text{ 计}) \quad (2)$$

式中: A_a 、 A_e ——活动积温和有效积温($^{\circ}\text{C}$); n ——某界限温度初终日间的持续天数; T_i ——日平均气温; B ——界限温度(针对植物生长发育而言, B 为生物

学零度)。

1.3 数据分析

在 Excel 中利用 Pearson 函数求算界限温度初终日、初终日期间持续日数、活动积温和有效积温,与年平均气温的相关系数进行显著性相关分析。

2 界限温度初、终日对温度升高的响应

2.1 界限温度及其生物学意义

适合共和盆地气候特点和农牧业生产实际的界限温度及其生物学意义如下: 0°C 表示春季土壤开始解冻,天然牧草开始萌动,青稞开始播种;秋季土壤开始冻结; $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 期间为农耕期,期间的活动积温是衡量地区热量资源状况的重要指标。 3°C 表示春季牧草普遍返青,青稞出苗,油菜开始播种;秋季牧草开始黄枯。 5°C 表示春季牧草进入快速生长阶段,油菜出苗,树林开始生长,秋季青稞成熟。 10°C 表示大部分牧草进入生殖生长阶段,青稞和油菜进入开花、灌浆(角果形成)期。

2.2 界限温度初、终日的平均状况

共和盆地稳定通过各级界限温度初、终日的平均、最早、最晚日期见表 1。共和盆地稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 初日在 3 月中旬后期,终日在 10 月下旬后期;稳定通过 $\geq 3^{\circ}\text{C}$ 初日在 3 月下旬前期,终日在 10 月中旬后期;稳定通过 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 初日在 4 月中旬后期,终日在 10 月中旬前期;稳定通过 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日在 5 月下旬后期,终日在 9 月中旬前期(表 1)。界限温度初日最早和终日最晚的年份基本在 20 世纪 90 年代以后,而初日最晚和终日最早的年份以 90 年代以前居多。这表明,伴随着温度的升高,总体上表现为界限温度的初日提前而终日推后的趋势。

表 1 共和盆地稳定通过各级界限温度日期(月-日)

项目	$\geq 0^{\circ}\text{C}$ 初日	$\geq 3^{\circ}\text{C}$ 初日	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ 初日	$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日	$\geq 0^{\circ}\text{C}$ 终日	$\geq 3^{\circ}\text{C}$ 终日	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ 终日	$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 终日
平均	03-19	03-23	04-19	05-28	10-31	10-19	10-11	09-13
最早	03-02	03-23	03-29	04-29	10-20	10-07	09-26	08-22
年份	1853	1987	1998	2008	1987	1954	1966	1958, 1971
最晚	04-10	05-14	05-17	06-22	11-16	10-30	10-27	09-30
年份	2005	1993	1993	1970, 2007	1999	2001	2006	1998

2.3 界限温度初、终日的变化趋势

2.3.1 界限温度初日变化 共和盆地日平均气温稳定通过各级界限温度初日的变化趋势如图 1 所示。共和盆地 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 3^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日均呈现出提前趋势,其气候倾向率分别为 $-0.9 \text{ d}/10 \text{ a}$ 、 $-1.3 \text{ d}/10 \text{ a}$ ($P < 0.10$)、 $-2.3 \text{ d}/10 \text{ a}$ ($P < 0.01$)、 $-2.3 \text{ d}/10 \text{ a}$ ($P < 0.05$),信度检验中,以 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 初日提前趋势最为显著,通过 0.01 信度水平检验; $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日提

前趋势通过信度 0.05 水平检验, $\geq 3^{\circ}\text{C}$ 初日提前趋势仅通过 0.10 信度水平检验; $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 初日提前趋势未通过信度水平检验,表现出界限温度值越高,初日提前趋势更加显著的规律性(图 1)。其中, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 是该地区具有农业意义的最高界限温度, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的持续时段可大致定义为本区域的夏季,农作物和牧草的生殖生长主要在此期间完成,初日较大幅度提前有利于农作物的产量增加。

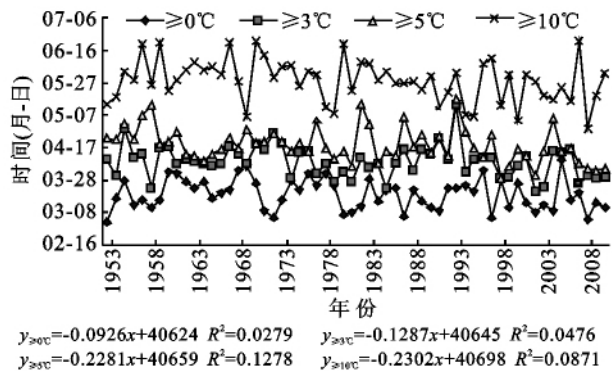


图 1 共和盆地界限温度初日年际变化

2.3.2 界限温度终日变化 共和盆地日平均气温稳定通过各级界限温度终日的变化趋势如图 2 所示。共和盆地 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 3^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 终日均呈现出推迟趋势,其气候倾向率分别为 $2.1\text{ d}/10\text{ a}$ ($P < 0.001$)、 $1.8\text{ d}/10\text{ a}$ ($P < 0.001$)、 $1.5\text{ d}/10\text{ a}$ ($P < 0.001$)和 $2.4\text{ d}/10\text{ a}$ ($P < 0.001$),均通过 0.001 极显著水平检验。比较而言, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 终日推迟趋势最为明显。

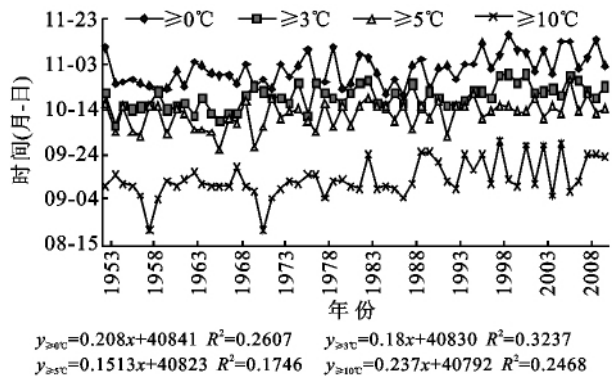


图 2 共和盆地界限温度终日年际变化

2.4 界限温度期间持续日数的变化趋势

日平均气温大于某界限温度的初、终日之间的持续日数,能够较好地表示相应农事季节或可供某类作物生长发育时间的长短,是确定某种作物类型和调整种植结构的重要依据。

各界限温度期间的持续日数均呈增加趋势,表明伴随温度升高,界限温度初终日之间的天数也随之增加。其气候倾向率分别为 $3.0\text{ d}/10\text{ a}$ ($P < 0.001$)、 $3.1\text{ d}/10\text{ a}$ ($P < 0.001$)、 $3.8\text{ d}/10\text{ a}$ ($P < 0.001$)和 $4.7\text{ d}/10\text{ a}$ ($P < 0.001$),均通过 0.001 极显著水平检验(图 3)。比较而言, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 终日的持续日数增加趋势最为明显。界限温度期间持续日数的年代际变化见表 2。 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 持续日数从上世纪 50 年代较多,60 年代至 00 年代由少增多,进入 21 世纪后明显增加; $\geq 3^{\circ}\text{C}$ 持续日数从 50 年代到 80 年代增加,90 年代减少,00 年代增加; $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 持续日数表现为持续增加趋势; $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 持续日数呈现出增加趋势。

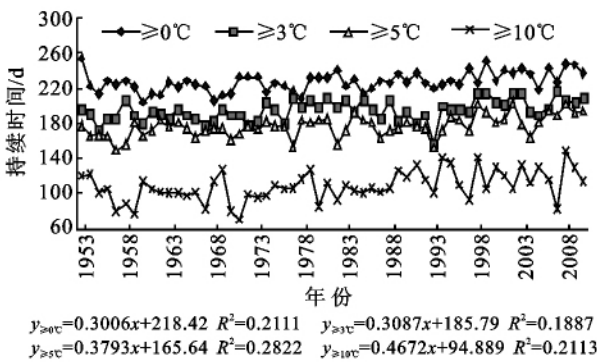


图 3 共和盆地界限温度期间持续日数年际变化

表 2 各年代界限温度期间持续日数

时间	$\geq 0^{\circ}\text{C}$	$\geq 3^{\circ}\text{C}$	$\geq 5^{\circ}\text{C}$	$\geq 10^{\circ}\text{C}$
50 年代	225	188	166	101
60 年代	218	189	173	101
70 年代	225	194	176	102
80 年代	228	198	176	108
90 年代	231	194	180	120
00 年代	238	205	188	119

2.5 界限温度初终日及期间持续日数与年平均气温的相关性

年平均气温是年度内逐日平均气温的综合反映,伴随温度变化,界限温度的初终日及期间持续日数也会相应发生改变。界限温度初终日的早晚与初终日之间的持续天数与年平均气温的相关性见表 3。

表 3 界限温度初终日及期间持续日数与年平均气温的相关系数

项目	相关系数	项目	相关系数
$\geq 0^{\circ}\text{C}$ 初日	-0.316*	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ 终日	0.449***
$\geq 3^{\circ}\text{C}$ 初日	-0.258*	$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 终日	0.425***
$\geq 5^{\circ}\text{C}$ 初日	-0.409***	$\geq 0^{\circ}\text{C}$ 持续日数	0.597***
$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日	-0.427***	$\geq 3^{\circ}\text{C}$ 持续日数	0.464***
$\geq 0^{\circ}\text{C}$ 终日	0.528***	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ 持续日数	0.592***
$\geq 3^{\circ}\text{C}$ 终日	0.561***	$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 持续日数	0.527***

注:*, **, *** 分别表示通过 0.05, 0.01, 0.001 信度水平检验。

相关分析表明,各级界限温度的初日与年平均气温呈负相关,即年平均气温升高,界限温度的初日提前。其中 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日与年平均气温极显著相关。各界限温度终日与年平均气温呈正相关,即年平均气温升高,界限温度终日推迟,均达到了极显著水平。各界限温度期间的持续日数与年平均气温均呈正相关,即年平均气温高,则界限温度初终日之间的持续时间长,在温度升高的气候背景下,相应的农事季节延长。各界限温度持续日数与年平均气温相关系数均达到极显著水平。

对与年平均气温的相关达到较显著及以上水平

的界限温度初终日及期间持续日数,建立如表 4 所列回归方程。回归模式显示,若年平均气温升高 1°C ,则各界限温度初日提前 $3\sim 6\text{ d}$,终日推迟 $3\sim 4\text{ d}$,各界限温度期间的持续日数延长 $6\sim 10\text{ d}$ 。

表 4 界限温度初终日及期间持续日数
与年平均气温的回归模式

模拟对象	回归方程
$\geq 0^{\circ}\text{C}$ 初日	$D_0 = 32.0699 - 3.2071T_{\text{年}}$
$\geq 3^{\circ}\text{C}$ 初日	$D_3 = 50.7242 - 2.7872T_{\text{年}}$
$\geq 5^{\circ}\text{C}$ 初日	$D_5 = 69.6067 - 4.9163T_{\text{年}}$
$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日	$D_{10} = 82.7156 - 6.0794T_{\text{年}}$
$\geq 0^{\circ}\text{C}$ 终日	$D_0 = 16.0767 + 3.8992T_{\text{年}}$
$\geq 3^{\circ}\text{C}$ 终日	$D_3 = 6.6391 + 3.2420T_{\text{年}}$
$\geq 5^{\circ}\text{C}$ 终日	$D_5 = 30.7200 + 3.0006T_{\text{年}}$
$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 终日	$D_{10} = 29.5664 + 3.6677T_{\text{年}}$
$\geq 0^{\circ}\text{C}$ 持续日数	$L_0 = 198.9025 + 7.1376T_{\text{年}}$
$\geq 3^{\circ}\text{C}$ 持续日数	$L_3 = 170.9149 + 6.0292T_{\text{年}}$
$\geq 5^{\circ}\text{C}$ 持续日数	$L_5 = 145.2750 + 7.8849T_{\text{年}}$
$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 持续日数	$L_{10} = 69.7171 + 9.7937T_{\text{年}}$

表 5 界限温度期间活动积温和有效积温

项目	活动积温				有效积温		
	$\geq 0^{\circ}\text{C}$	$\geq 3^{\circ}\text{C}$	$\geq 5^{\circ}\text{C}$	$\geq 10^{\circ}\text{C}$	$\geq 3^{\circ}\text{C}$	$\geq 5^{\circ}\text{C}$	$\geq 10^{\circ}\text{C}$
平均	2344.2	2255.0	2151.3	1503.3	1678.2	1285.2	467.7
最多	2722.6	2692.6	2628.4	2040.9	2053.6	1638.4	701.8
最少	2087.5	1837.9	1796.7	1070.5	1372.9	1040.5	287.0

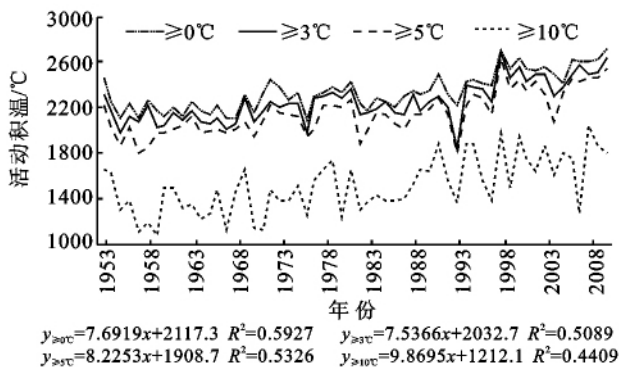


图 4 共和盆地界限温度期间活动积温年际变化

共和盆地有效积温的年际变化见图 5。有效积温同样表现为增多趋势, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 3^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 有效积温的气候倾向率分别为 76.9 、 74.4 、 80.5 、 $94.2^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,信度水平检验均达 0.001 。有效积温变化与活动积温基本一致,随界限温度增高气候倾向率明显增大。

共和盆地各级界限温度期间活动积温和有效积温的年代际变化具有一致的规律性,即: $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 3^{\circ}\text{C}$ 活动积温和有效积温,从 20 世纪 50 年代至 80 年代呈现出“高一低—高一低”的变化趋势,从 20 世纪 80 年代到 21 世纪 10 年代积温持续增加;而 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 的活

3 界限温度期间积温对温度升高的响应

3.1 积温变化状况

共和盆地各界限温度期间活动积温和有效积温见表 5。 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温平均值为 $2\,344.2^{\circ}\text{C}$,最多年达 $2\,722.6^{\circ}\text{C}$,较多年值偏多 16.4% ;最少年仅为 $2\,087.5^{\circ}\text{C}$,较多年值偏少 11.0% 。 $\geq 3^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温中,有效积温平均值较活动积温分别偏少 25.6% 、 40.3% 、 68.9% ,可见,随着临界温度值的升高,有效积温的降低幅度亦随之增大。

3.2 各界限温度期间积温的变化趋势

共和盆地活动积温的年际变化如图 4 所示。共和盆地各级界限温度期间活动积温均表现为增加趋势, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 3^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温的气候倾向率分别为 76.9 、 75.4 、 82.3 、 $98.7^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,均通过信度 0.001 水平检验,存在随界限温度增高气候倾向率增大的规律(图 4)。这表明积温增多的变化趋势有利于种植业的稳定,也为种植业的结构调整提供了热量资源。

动积温和有效积温,在 20 世纪 50 和 80 年代均较低,其他年代均较高; $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的活动积温和有效积温则表现为由低到高的变化趋势,这种变化规律与年代平均气温(3.2°C 、 3.1°C 、 3.7°C 、 3.9°C 、 4.6°C 、 5.3°C)的变化趋势相对应。

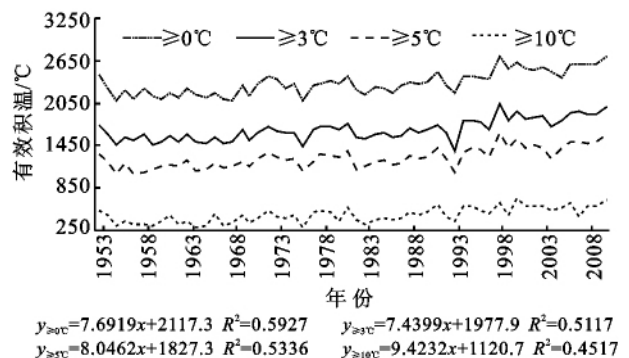


图 5 共和盆地界限温度期间有效积温变化

3.3 温度升高对积温的影响

通过计算各级界限温度初终日活动积温和有效积温与年平均气温的相关系数,年平均气温与 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 3^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温的相关系数依次为 0.933 、 0.830 、 0.851 和 0.689 ,而与有效积温的相关系数分别为 0.932 、 0.849 、 0.857 和 0.673 。相关

分析表明,活动积温和有效积温与年平均气温的相关性均达到极显著水平,表明温度升高对积温的影响十分明显。模拟出积温与年平均气温的回归模式,见表 6。

表 6 积温与年平均气温回归模式

温度	活动积温	有效积温
$\geq 0^{\circ}\text{C}$	$A_{a0}=1662.5+170.5T$	$A_{e0}=1666.9+170.2T_{\text{年}}$
$\geq 30^{\circ}\text{C}$	$A_{a3}=1604.7+164.7T$	$A_{e3}=1602.8+164.0T_{\text{年}}$
$\geq 50^{\circ}\text{C}$	$A_{a5}=1454.7+178.1T$	$A_{e5}=1448.7+176.7T_{\text{年}}$
$\geq 10^{\circ}\text{C}$	$A_{a10}=801.1+189.9T$	$A_{e10}=775.4+183.0T_{\text{年}}$

回归模式显示,年平均气温每升高 1°C ,将使共和盆地各级界限温度期间活动积温增加 $165\sim 190^{\circ}\text{C}$,有效积温增加 $164\sim 183^{\circ}\text{C}$ 。

4 结 论

(1) 共和盆地稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 初日在 3 月中旬后期,终日在 10 月下旬后期;稳定通过 $\geq 3^{\circ}\text{C}$ 初日在 3 月下旬前期,终日在 10 月中旬后期;稳定通过 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 初日在 4 月中旬后期,终日在 10 月中旬前期;稳定通过 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日在 5 月下旬后期,终日在 9 月中旬前期。

(2) 各界限温度初日均呈现出提前趋势,其气候倾向率分别为 $-0.9, -1.3, -2.3, -2.3\text{ d}/10\text{ a}$,表现出界限温度值越高,初日提前趋势越明显;终日均呈现出推迟趋势,其气候倾向率分别为 $2.1, 1.8, 1.5, 2.4\text{ d}/10\text{ a}$,其中 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 终日推迟趋势最为明显。

(3) 各界限温度期间的持续日数与年平均气温均呈正相关,相关系数均达到极显著水平。若年平均气温升高 1°C ,则各界限温度初日提前 $3\sim 6\text{ d}$,终日推迟 $3\sim 4\text{ d}$,各界限温度期间的持续日数延长 $6\sim 10\text{ d}$ 。

(4) 界限温度期间活动积温均表现为增加趋势,

$\geq 0^{\circ}\text{C}, \geq 3^{\circ}\text{C}, \geq 5^{\circ}\text{C}, \geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温的气候倾向率分别为 $76.9, 75.4, 82.3, 98.7^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,存在随界限温度增高气候倾向率增大的规律;有效积温同样表现为增多趋势, $\geq 0^{\circ}\text{C}, \geq 3^{\circ}\text{C}, \geq 5^{\circ}\text{C}, \geq 10^{\circ}\text{C}$ 有效积温的气候倾向率分别为 $76.9, 74.4, 80.5, 94.2^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。

(5) 活动积温和有效积温与年平均气温的相关性均达到极显著水平,年平均气温每升高 1°C ,将使共和盆地各级界限温度期间活动积温增加 $165\sim 190^{\circ}\text{C}$,有效积温增加 $164\sim 183^{\circ}\text{C}$ 。

参考文献:

[1] 冯秀藻,陶炳炎. 农业气象学原理[M]. 北京:气象出版社,1994.

[2] 徐善玲,黄不国,黄琼,等. 浅谈作物积温的稳定性及其预报的准确性[J]. 江西气象科技,2005,28(3):34-35.

[3] 樊晓春,郭江勇,杨小利. 西峰黄土高原冬季积温变化对作物发育期的影响[J]. 中国农业气象,2007,28(3):318-321.

[4] 杨洪宾,徐成忠,李春光,等. 播期对冬小麦生长及所需积温的影响[J]. 中国农业气象,2009,30(2):201-203.

[5] 闫小珍,张随贤,苗国柱,等. 小麦发育期对冬季积温变化的响应分析[J]. 气象与环境科学,2009,32(4):37-39.

[6] 肖静,李楠,姜会飞. 作物发育期积温计算方法及其稳定性[J]. 气象研究与应用,2010,31(2):64-67.

[7] 冯明. 湖北省主要作物生育期间热量资源变化的研究[J]. 南京气象学院学报,1997,20(3):387-391.

[8] 赵俊芳,郭建平,马玉平. 气候变化背景下我国农业热量资源的变化趋势及适应对策[J]. 应用生态学报,2010,21(11):2922-2930.

[9] 桑建人,刘玉兰,韩世涛,等. 宁夏热量资源气候变化的 EOF 特征[J]. 气象科技,2007,35(2):187-190.

[10] 毛恒青,万晖. 华北、东北地区积温的变化[J]. 中国农业气象,2000,21(3):1-5.

[11] 刘勤,严昌荣,何文清. 黄河流域近 40a 积温动态变化研究[J]. 自然资源学报,2009,24(1):147-153.

(上接第 199 页)

[12] 高阳,高甲荣,李付杰. 基于河道—湿地—缓冲带复合指标的京郊河溪生态评价体系[J]. 生态学报,2008,28(10):5149-5160.

[13] 张凤玲,刘静玲,杨志峰. 城市河湖生态系统健康评价

[J]. 生态学报,2005,25(11):3019-3024.

[14] 陈子珊,高甲荣. 北京郊区河岸带自然性评价与生态恢复[D]. 北京:北京林业大学,2008.

[15] 冯泽深,高甲荣. 北京郊区雁栖河自然性定量评价[J]. 中国农村水利水电,2008(10):14-17.