

# 延安市界限温度 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的活动积温变化特征

包光<sup>1,2</sup>, 屈勇<sup>1</sup>, 刘娜<sup>1,2</sup>, 胡亚飞<sup>1</sup>

1. 陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室, 宝鸡文理学院 地理与环境学院, 宝鸡 721013  
2. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061

**摘要:** 利用延安气象站 1951—2012 年日平均气温资料, 运用五日滑动平均法、一元线性回归等方法对界限温度  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的初日、终日、持续天数以及活动积温进行了分析, 并对初日、终日、持续时间以及活动积温与年平均气温的相关关系进行探讨。结果表明: 界限温度  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的初日呈现出提前趋势, 气候倾向率为  $-1.845 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ; 终日呈现出推迟趋势, 变化倾向率为  $2.437 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ; 持续时间延长, 变化倾向率为  $4.189 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ; 活动积温也增加, 气候变化倾向率为  $106.57^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。界限温度  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的初日、终日、持续时间以及活动积温与年平均气温存在显著相关, 其中活动积温与年平均气温相关系数高达 0.882, 回归分析显示年平均气温每升高  $1^{\circ}\text{C}$  时, 界限温度  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的活动积温增加  $217^{\circ}\text{C}$ 。

**关键词:** 活动积温; 变化特征; 延安市

## Accumulated temperature variation characteristics of the boundary temperature $\geq 10^{\circ}\text{C}$ in Yan'an

BAO Guang<sup>1,2</sup>, QU Yong<sup>1</sup>, LIU Na<sup>1,2</sup>, HU Yafei<sup>1</sup>

1. Shaanxi Key Laboratory of Disaster Monitoring and Mechanism Simulation, School of Geography and Environment, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji 721013, China  
2. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, China

**Abstract: Background, aim, and scope** Yan'an is located on the northern part of the Loess Plateau as well as the edge of the Asian summer monsoon. Because of the monsoon climatic condition, Yan'an is considered to be a sensitive place to study the impacts of global warming on regional climate change. Boundary temperatures are important indicators for measuring the caloric status on the regional scale, and their variation characteristics exhibit significance on agricultural production. This study explores the features of the onset day, end day, duration and activity accumulated temperature of the boundary temperature  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  in the past 62 years in Yan'an, Shaanxi Province. **Materials and methods** Based on the daily average temperature data of Yan'an Meteorological Station

收稿日期: 2018-04-01; 录用日期: 2018-06-30; 网络出版: 2018-07-13

Received Date: 2018-04-01; Accepted Date: 2018-06-30; Online first: 2018-07-13

基金项目: 陕西省教育厅重点实验室科研计划项目 (17JS005); 黄土与第四纪地质国家重点实验室开放基金项目 (SKLLQG1801, SKLLQG1711); 陕西省普通高校第二批青年杰出人才支持计划 (2018); 宝鸡文理学院重点项目 (ZK2018047)

Foundation Item: Shaanxi Key Laboratory of Disaster Monitoring and Mechanism Modeling (17JS005); Open Fund of State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology (SKLLQG1801, SKLLQG1711); Second Outstanding Young Talents of Shaanxi Universities (2018); Key Program of Baoji University of Arts and Sciences (ZK2018047)

通信作者: 包光, E-mail: baoguang23@163.com

Corresponding Author: BAO Guang, E-mail: baoguang23@163.com

引用格式: 包光, 屈勇, 刘娜, 等. 2019. 延安市界限温度  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的活动积温变化特征 [J]. 地球环境学报, 10(2): 149–155.

Citation: Bao G, Qu Y, Liu N, et al. 2019. Accumulated temperature variation characteristics of the boundary temperature  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  in Yan'an [J]. Journal of Earth Environment, 10(2): 149–155.

from 1951 to 2012, the five-day moving average method and linear regression method were performed to study the onset day, end day, duration and activity accumulated temperature of the boundary temperature  $\geq 10^{\circ}\text{C}$ . Correlations between the variables mentioned above and the annual average temperature were analyzed. **Results** The results showed that the onset day series of the boundary temperature  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  displaying an advanced trend with a tendency rate of  $-1.845 \text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ , the delayed trend existed in the end day series with a change rate of  $2.437 \text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ , the duration was prolonged with a rate of  $4.189 \text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ , and the activity accumulated temperature increased with a rate of  $106.57^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ . The onset day, end day, duration and activity accumulated temperature of the boundary temperature  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  were significantly correlated with the annual average temperature. The highest correlation coefficient between the active accumulated temperature and the annual average temperature was 0.882. The regression analysis showed that the activity accumulated temperature  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  could increase  $217^{\circ}\text{C}$  when the annual average temperature enhanced  $1^{\circ}\text{C}$ . **Discussion** Global warming has a wide-ranging impact on the natural environment and human society. The analysis of special temperature features on the regional and local scales could be useful to reduce the adverse effects of climate change and improve adaptability. **Conclusions** The variables of temperature  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  including the onset day, end day, duration and activity accumulated temperature generally showed trends consistent with global warming from 1951 to 2012, which confirmed the regional temperature variation coinciding with the global scale context. **Recommendations and perspectives** The variations of special temperature such as the boundary temperature  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  are very important to sustainable development of regional natural environment and human society. To identify the features of the onset day, end day, duration and temperature in a long-term span could be helpful to reduce climate disaster risks and improve defense against global warming in the future.

**Key words:** activity accumulated temperature; characteristic analysis; Yan'an

在全球变暖大背景下, 全球大部分地区的地表温度均处于上升趋势(秦大河等, 2014), 但区域气候变化仍然存在不确定性, 无疑对区域气候变化产生影响(王小燕和乐群, 2016)。活动积温作为气候因子之一, 是衡量一个地区热量状况的重要指标, 影响农作物的生长、发育和产量的形成, 对农业生产和布局有重要意义(杨晓光等, 2011; 郭建平, 2015), 也是进行农业气候区划、合理配置农作物以及预报物候期、病虫害发生期的重要依据(李飞等, 2010)。众多学者对不同界限温度的生长期参数(王树廷和王伯民, 1984)(初日、终日、持续时间和活动积温)进行了研究, 如:  $0^{\circ}\text{C}$ 、 $5^{\circ}\text{C}$ 、 $10^{\circ}\text{C}$ 等。其中 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温是研究采用的较为普遍的界限温度。因为 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的多少表征了喜凉及喜温作物全生育期对热量条件要求的满足度(张厚瑄和张翼, 1994)。Burger et al (2017)发现作物的产量与积温相关, 但并非积温越高产量越高。柳芳和黎贞发(2010)利用天津 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温和冬小麦产量进行统计分析, 发现积温的升高对冬小麦产量的影响作用在增强。殷雪莲等(2014)发现河西走廊中

部生长期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 热量资源显著增加, 有利于扩大该区主导作物玉米的种植面积和产量等。刘勤等(2009)认为受全球气候变暖的影响, 黄河流域 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温呈上升趋势。王水霞等(2017)认为秦岭南部地区 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温呈显著增加趋势, 对油菜单产影响较大。魏玲等(2017)通过建立地理回归模型确定了汉中市 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温元胡作物适宜区。但对于延安市界限温度生长期参数的研究较为缺乏。因此, 本文对延安地区界限温度 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的生长期参数进行分析, 揭示器测时段 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的初日、终日、持续天数和活动积温变化特征。

## 1 研究区概况

延安市位于黄河中游地区, 陕北南部, 境内90%以上的区域属于黄土高原丘陵沟壑区, 梁峁交错, 沟壑纵横, 水土流失多发(杨强等, 2014)。地理位置 $35^{\circ}21' - 37^{\circ}31' \text{N}$ ,  $107^{\circ}41' - 110^{\circ}31' \text{E}$ , 属大陆性季风气候, 多年平均气温 $9.93^{\circ}\text{C}$ , 四季分明, 气温年较差大; 多年平均降水量 $532 \text{ mm}$ , 季节分配不均匀, 其中夏秋季降水充沛, 占全年总降水的82.5%, 同时受北方冷气团的影响, 延安

冬季干冷且多大风天气。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源

数据来源于中国气象站科学共享服务网 (<http://cdc.cma.gov.cn/>) 延安气象站 ( $36^{\circ}36'N$ ,  $109^{\circ}30'E$ , 海拔 958.5 m) 1951—2012 年逐日平均气温资料 (图 1)。当闰年时, 把 2 月 28 日和 29 日的日均温求平均后当作 28 日的日平均气温, 对 2 月份日平均气温天数统一取 28 天。数据处理运用 Excel 2010 统计分析软件, 对逐日平均气温采用连续 5 日滑动平均取值。

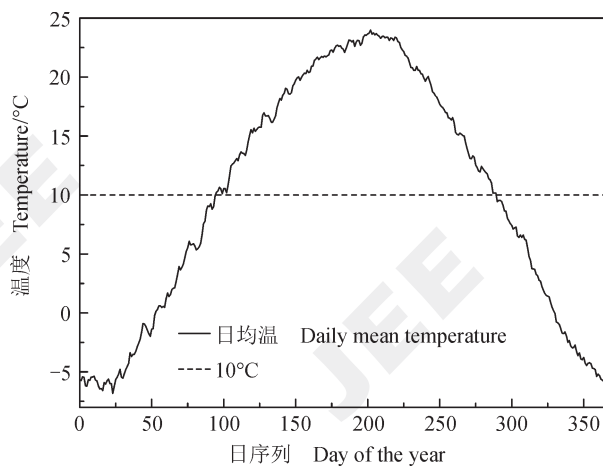


图 1 延安市气象站 1951—2012 年累年日均温度序列  
Fig.1 Daily mean temperature variation of Yan'an meteorological data during 1951—2012

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 积温计算

$\geq 10^{\circ}\text{C}$  活动积温具体算法参考宋水华和宋良变 (2009)。即在一年中选第一个日平均气温  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  之日, 从该日起向前推 4 天计算连续 5 日滑动平均值, 选取 5 日滑动平均值中温度持续稳定  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  界限温度的最长时期, 在第一个稳定通过该界限温度的 5 日滑动序列中, 选取对应 5 日平均温  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的第一天作为初日, 在最后一个稳定通过该界限温度的 5 日滑动序列中, 选取对应 5 日平均温  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的最后一天作为终日, 持续天数 = 终日日序 - 初日日序 + 1, 初始日与终止日之间持续天数的日平均气温累加之和即为  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的活动积温。

#### 2.2.2 线性回归法

采用线性回归法对数据的趋势变化进行判定 (魏凤英, 2007):  $Y$  表示气温变量,  $X_i$  表示  $Y$  对应的时间,  $n$  为样本量, 建立一元线性回归方程:

$$Y = a + b \times X_i (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中: 回归系数  $b$  的大小可反映变量的上升或者下降的速率。 $b \times 10$  为气温倾向率, 单位为  $^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。

## 3 结果与分析

### 3.1 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日与终日的变化

初始日期序列的建立: 即以 1 月 1 日为一年第一天, 记为 1; 1 月 2 日记为 2, ..., 以此方法建立 1951—2012 年初始日期序列 (吴海婷等, 2015), 则初日时间出现越早, 其在一年中的位序排位就越小 (葛玉祥等, 2018)。由图 2 可知: 近 62 年延安市  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  初日时间呈波动下降趋势, 气候变化倾向率为  $-1.845 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , 即  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  初日平均以  $-1.845 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$  的速率提前, 并且通过了 0.05 显著性检验, 说明提前趋势较明显。1951—2012 年延安市  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  初日平均日期主要集中在 4 月 14 日, 最早出现在 3 月 27 日 (1998 年), 最晚出现在 5 月 1 日 (1986 年)。

由图 2 可知: 近 62 年延安市  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  终日时间呈波动上升趋势, 气候变化倾向率为  $2.437 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , 即  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  终日平均以  $2.437 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$  的速率推迟, 并且通过了 0.05 显著性检验, 说明推迟趋势较明显。1951—2012 年延安市  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  终日平均日期主要集中在 10 月 7 日, 最早出现在 9 月 24 日 (1962 年), 最晚出现在 10 月 30 日 (2001 年)。

### 3.2 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 持续天数的变化

由图 3 可知: 持续天数序列呈现上升趋势, 气候变化倾向率为  $4.189 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , 即  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  持续天数平均以  $4.189 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$  的速率延长, 并且通过了 0.01 显著性检验, 说明持续天数延长趋势较明显。近 62 年延安市  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  平均持续天数为 182 天, 从 1951 年的最小值 (158 天) 到 1998 年的最大值 (209 天), 持续时间相差了 51 天。其中在 2005 年以后,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  持续天数均超过了 182 天。

### 3.3 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温的变化

由图 4 可知: 1951—2012 年延安市  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  活动积温总体呈增加趋势, 气候变化倾向率为  $106.57^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , 即  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  活动积温平均以  $106.57^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$  的速率增加, 并且通过了 0.01

显著性检验,说明活动积温增加趋势较明显。近 62 年延安市  $\geq 10^\circ\text{C}$  活动积温平均为  $3446.7^\circ\text{C}$ 。1951 年开始上升,1961 和 1978 年形成两个峰值,分别为  $3509.1^\circ\text{C}$  和  $3668.0^\circ\text{C}$ 。随后峰值迅速

下降,大多年份处于平均值以下。1995 年之后,除 2003 年 ( $3421.1^\circ\text{C}$ ) 外,其他年份均处于平均值以上,其中 1998 年达到了 62 年以来的最高值 ( $4007.2^\circ\text{C}$ )。

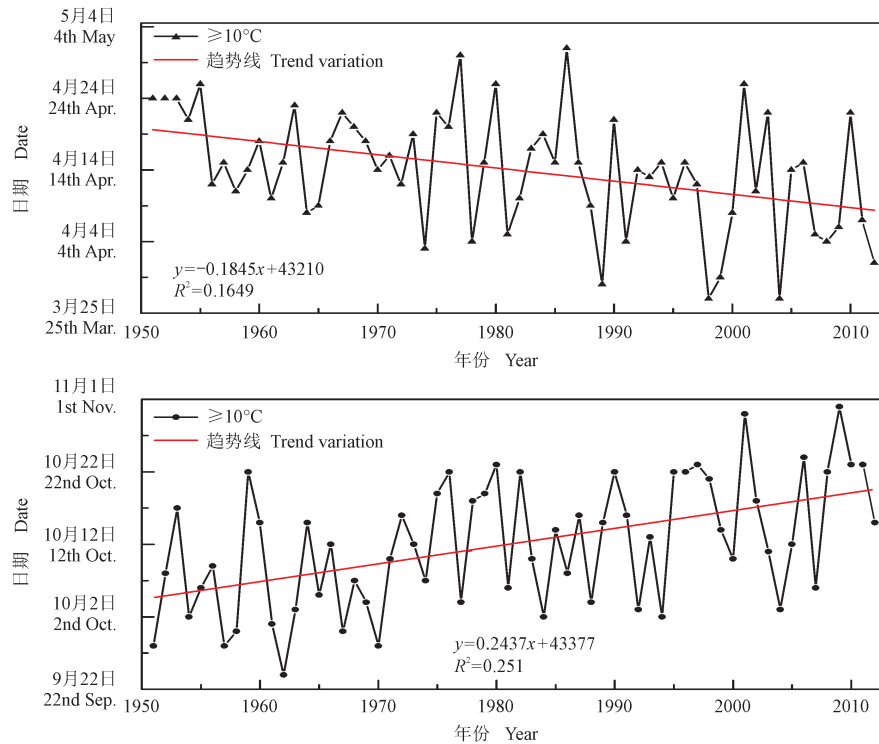


图 2 1951—2012 年延安市  $\geq 10^\circ\text{C}$  初日 (上图) 和终日 (下图) 变化  
Fig.2 Variations of onset day (top) and end day (down) of  $\geq 10^\circ\text{C}$  in Yan'an during 1951—2012

### 3.4 界限温度 $\geq 10^\circ\text{C}$ 与年平均气温的关系

年平均气温是年度内逐日平均气温的综合反映,随着温度的变化,界限温度的初终日、持续天数及活动积温也会相应发生改变(赵恒和等, 2012)。界限温度初终日的早晚与初终日之间的持续天数以及活动积温与年平均气温的相关性见表 1。

相关分析表明:界限温度  $\geq 10^\circ\text{C}$  的初日与年平均气温呈负相关,达到了极显著水平,即年平均气温升高,  $\geq 10^\circ\text{C}$  的初日时间提前。终日与年平均气温呈正相关,即年平均气温升高,终日时间推迟,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,则初终日之间的持续时间长。而  $\geq 10^\circ\text{C}$  的活动积温与年平均气温的相关系数为 0.882,达到了极显著性水平,表明气温升高对活动积温的影

响十分显著。因此,采用一元线性回归方法模拟出  $\geq 10^\circ\text{C}$  的活动积温与年平均气温的回归方程:

$$A_{10} = 763.309 + 271.107T \quad (2)$$

式中:  $A_{10}$  表示  $\geq 10^\circ\text{C}$  的活动积温,  $T$  表示年平均气温。回归方程显示:年平均气温每升高  $1^\circ\text{C}$ ,延安市界限温度  $\geq 10^\circ\text{C}$  的活动积温大约增加  $217^\circ\text{C}$ 。

## 4 讨论

由以上结果与分析可知:延安市近 62 年来界限温度  $\geq 10^\circ\text{C}$  的初日时间提前,终日时间推迟,持续时间和活动积温均增加,说明该地区生长期特征温度参数变化特征与全球气候变暖的响应一致。界限温度  $\geq 10^\circ\text{C}$  的变化显著增加了延安地区的热量资源,使作物生长期延长,生长季热量增加(戴声佩等, 2014)。这与国内学者前期研究成果所揭示的结论相近,例如:王小燕和乐群(2016)认



为中国积温逐渐升高的演变趋势较为一致,其中北部地区的增温幅度大于中部和南部地区,增温地区主要出现在秦岭—淮河一线以北;柏秦凤等(2008)发现20世纪80年代以后,我国大部分地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的生长期增加了4.2天,生长期初日提前,终日延迟,导致生长期延长;孟艳灵等(2016)基于晋陕蒙地区75个气象站1960—2014年逐日平均气温数据所表明的 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温近55 a增加速率为 $74.60^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ,其中陕西汉中地区处于上升趋势最明显的区域之一,其 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温倾向率大于 $100^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。杨利霞等(2014)对汉中市北部秦岭山区1971—2013年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的生长期参数的变化规律研究揭示的初始日提前,终日推后,持续时间和活动积温增加与本文的结论基本一致。

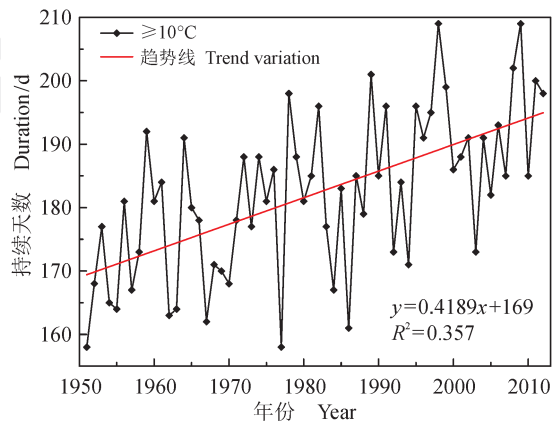


图3 1951—2012年延安市 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 持续天数变化  
Fig.3 Variations of duration of  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  in Yan'an during 1951—2012

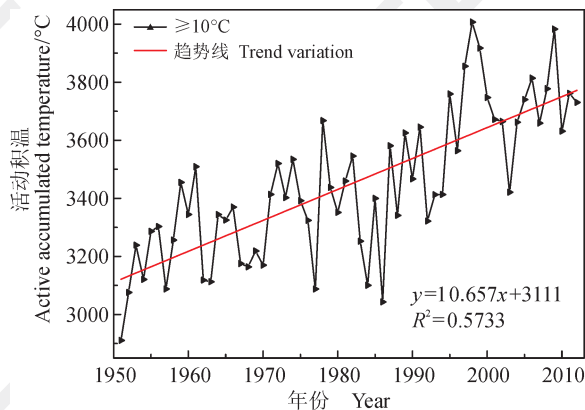


图4 1951—2012年延安市 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温变化  
Fig.4 Variations of activity accumulated temperature of  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  in Yan'an during 1951—2012

表1 界限温度生长期参数与年平均气温的相关性  
Tab.1 Correlation coefficients between the annual mean temperature with different growth parameters

生长期参数 Growth parameters	相关系数 Correlation coefficients
初日 Onset day	-0.454**
终日 End day	0.535**
持续时间 Duration	0.661**
活动积温 Activity accumulated temperature	0.882**

\*\* $p < 0.01$

气候变暖不仅使农业生产所需的活动积温增加,还会影响到降水、湿度等其他与农业生产有关的气象指标,气温升高可能造成局部地区干旱,甚至引发不同程度的旱灾,对农业生产造成减产或者使农产品质量降低(刘德祥等,2005)。同时也会对农作物害虫的繁殖、越冬、迁飞等习性造成影响,导致作物病虫害的地理范围扩大,最终导致病虫害增加(贾震等,2012)。王义祥等(2006)认为随着 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温界限的北移,原本受热量限制的病虫害可能逐渐向较高纬度扩散。因此,要合理利用气候资源,为农业提供指导,调整作物种植并做好病虫害防范工作,以此来达到增加作物产量的目的。鉴于数据的限制,本文未能对延安区域积温空间变化特征进行分析,后续研究有待进一步深入。

## 5 结论

通过对延安市1951—2012年近62年界限温度 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的生长期参数的初终日变化、持续天数、活动积温变化特征及其与年平均气温的关系分析,等到初步结论:

(1) 界限温度 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的初日呈现提前趋势,气候倾向率为 $-1.845\text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ,初日时间主要集中在4月14日;终日呈现推迟趋势,气候变化倾向率为 $2.437\text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ,终日时间主要集中在10月7日。

(2) 界限温度 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的持续时间延长,气候变化倾向率为 $4.189\text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ,平均持续天数为182天;活动积温增加,气候变化倾向率为 $106.57^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ,平均活动积温为 $3446.7^{\circ}\text{C}$ ,与全球气候变暖响应一致。

(3) 界限温度 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的初日、终日、持续时间以及活动积温与年平均气温有很好的相关关系,其相关系数分别为-0.454、0.535、0.661和0.882,其中活动积温与年平均气温相关最好,并建立了

二者的回归方程, 当年平均气温每升高 1℃时, 界限温度 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的活动积温增加 217℃。

### 参考文献

- 柏秦凤, 霍治国, 李世奎, 等. 2008. 1978 年前、后中国 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温对比 [J]. *应用生态学报*, 19(8): 1810–1816. [Bai Q F, Huo Z G, Li S K, et al. 2008. Comparison of accumulated temperature above  $10^{\circ}\text{C}$  before and after the year 1978 in China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 19(8): 1810–1816.]
- 戴声佩, 李海亮, 刘海清, 等. 2014. 全球气候变暖背景下华南地区农业气候资源时空变化特征 [J]. *中国农业资源与区划*, 35(1): 52–60. [Dai S P, Li H L, Liu H Q, et al. 2014. The spatio-temporal change characteristics of agriculture climate resources in southern China under the background of global warming [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 35(1): 52–60.]
- 葛玉祥, 包光, 胡亚飞, 等. 2018. 红花尔基樟子松径向生长对生长期温度的响应研究 [J]. *宝鸡文理学院学报 (自然科学版)*, 38(1): 23–29. [Ge Y X, Bao G, Hu Y F, et al. 2018. Response of radial growth of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* to different temperature parameters in Honghuaerji region [J]. *Journal of Baoji University of Arts and Sciences (Natural Science Edition)*, 38(1): 23–29.]
- 郭建平. 2015. 气候变化对中国农业生产的影响研究进展 [J]. *应用气象学报*, 26(1): 1–11. [Guo J P. 2015. Advances in impacts of climate change on agricultural production in China [J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 26(1): 1–11.]
- 贾震, 李学军, 郑国. 2012. 双七瓢虫发育起点温度与有效积温研究 [J]. *中国植保导刊*, 32(4): 9–12. [Jia Z, Li X J, Zheng G. 2012. Study on development threshold temperature and effective accumulative temperature of *Coccinella quatuordecimpustulata* [J]. *China Plant Protection*, 32(4): 9–12.]
- 李飞, 王春, 赵军, 等. 2010. 中国陆地多年平均积温空间化研究 [J]. *自然资源学报*, 25(5): 778–784. [Li F, Wang C, Zhao J, et al. 2010. The spatialization of multi-year average accumulated temperature in China [J]. *Journal of Natural Resources*, 25(5): 778–784.]
- 刘德祥, 董安祥, 陆登荣. 2005. 中国西北地区近 43 年气候变化及其对农业生产的影响 [J]. *干旱地区农业研究*, 23(2): 195–201. [Liu D X, Dong A X, Lu D R. 2005. Climatic change of northwest China and its influence on agricultural production in recent 43 years [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 23(2): 195–201.]
- 刘勤, 严昌荣, 何文清, 等. 2009. 黄河流域近 40 a 积温动态变化研究 [J]. *自然资源学报*, 24(1): 147–153. [Liu Q, Yan C R, He W Q, et al. 2009. Dynamic variation of accumulated temperature data in recent 40 years in the Yellow River Basin [J]. *Journal of Natural Resources*, 24(1): 147–153.]
- 柳芳, 黎贞发. 2010. 降水量和积温变化对天津冬小麦产量的影响 [J]. *中国农业气象*, 31(3): 431–435. [Liu F, Li Z F. 2010. Impacts of precipitation and accumulated temperature on winter wheat yield in Tianjin [J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 31(3): 431–435.]
- 孟艳灵, 殷淑燕, 杨锋, 等. 2016. 晋陕蒙地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的时空变化特征 [J]. *中国农业气象*, 37(6): 615–622. [Meng Y L, Yin S Y, Yang F, et al. 2016. Spatial and temporal distribution of accumulated temperature above  $10^{\circ}\text{C}$  in Shanxi-Shaanxi-Inner Mongolia region [J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 37(6): 615–622.]
- 秦大河, Stocker T, 259 名作者和 TSU (驻伯尔尼和北京). 2014. IPCC 第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论 [J]. *气候变化研究进展*, 10(1): 1–6. [Qin D H, Stocker T, 259 authors and TSU (Bern & Beijing). 2014. Highlights of the IPCC Working Group I Fifth Assessment Report [J]. *Progress Inquisition de Mutatione Climatis*, 10(1): 1–6.]
- 宋水华, 宋良变. 2009. 界限温度初终日期的确定及意义 [J]. *沙漠与绿洲气象*, 3(S1): 113–114. [Song S H, Song L L. 2009. Determination and significance of the initial and final date of the boundary temperature [J]. *Desert and Oasis Meteorology*, 3(S1): 113–114.]
- 王树廷, 王伯民. 1984. 气象资料的整理和统计方法 [M]. 北京: 中国气象出版社. [Wang S T, Wang B M. 1984. Meteorological data and statistical methods [M]. Beijing: China Meteorological Press.]
- 王水霞, 殷淑燕, 赵芮芮, 等. 2017. 秦岭南部地区农业气候资源的变化及其对油菜的影响 [J]. *长江流域资源与环境*, 26(6): 882–893. [Wang S X, Yin S Y, Zhao R R, et al. 2017. Change characteristics of agricultural climate resources in southern Qinling Mountains and its influence on rape [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 26(6): 882–893.]
- 王小燕, 乐群. 2016. 1961—2010 年中国区域积温的演变趋势 [J]. *湖北农业科学*, 55(7): 1697–1701. [Wang X Y,

- Yue Q. 2016. Evolution trend of accumulated temperature isoline during 1961 to 2010 in Chinese region [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 55(7): 1697–1701.]
- 王义祥, 翁伯琦, 黄毅斌. 2006. 全球气候变化对农业生态系统的影 响及研究对策 [J]. *亚热带农业研究*, 2(3): 203–208. [Wang Y X, Weng B Q, Huang Y B. 2006. Effects of global climate change on agriculture ecosystems and research strategy for the future [J]. *Subtropical Agriculture Research*, 2(3): 203–208.]
- 魏凤英. 2007. 现代气候统计与预测技术 [M]. 第二版. 北京: 气象出版社: 1–296. [Wei F Y. 2007. Modern climate statistics and prediction technology [M]. 2nd edition. Beijing: China Meteorological Press: 1–296.]
- 魏玲, 王胜宝, 李厚华, 等. 2017. 汉中市元胡种植气候区划 [J]. *浙江农业科学*, 58(6): 993–995. [Wei L, Wang S B, Li H H, et al. 2017. Climate division of planting *Corydalis yanhusuo* W. T. Wang in Hanzhong [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 58(6): 993–995.]
- 吴海婷, 杨斌斌, 崔一民, 等. 2015. 临汾市  $0^{\circ}\text{C}$  界限温度气候特征变化分析 [J]. *中国农学通报*, 31(24): 210–215. [Wu H T, Yang B B, Cui Y M, et al. 2015. The climate characteristics change of  $0^{\circ}\text{C}$  boundary temperature in Linfen City [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 31(24): 210–215.]
- 杨利霞, 袁再勤, 孟茹, 等. 2014. 汉中市农业界限温度和积温的特征及变化趋势研究 [J]. *陕西农业科学*, 60(9): 10–14. [Yang L X, Yuan Z Q, Meng R, et al. 2014. Study on characteristics and trends of agricultural boundary temperature and accumulated temperature in Hanzhong City [J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 60(9): 10–14.]
- 杨强, 何立恒, 鲍其胜. 2014. 延安市 1980—2010 年气温和降水的年际变化特征 [J]. *南京林业大学学报 (自然科学版)*, 38(6): 179–183. [Yang Q, He L H, Bao Q S. 2014. Characteristics of annual change in temperature and precipitation in Yan'an region during 1980—2010 [J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 38(6): 179–183.]
- 杨晓光, 李勇, 代姝玮, 等. 2011. 气候变化背景下中国农业气候资源变化 IX. 中国农业气候资源时空变化特征 [J]. *应用生态学报*, 22(12): 3177–3188. [Yang X G, Li Y, Dai S W, et al. 2011. Changes of China agricultural climate resources under the background of climate change: IX. spatiotemporal change characteristics of China agricultural climate resources [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 22(12): 3177–3188.]
- 殷雪莲, 何金梅, 郭萍萍. 2014. 河西走廊中部  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  界限温度演变特征及其对玉米生产的影响 [J]. *干旱地区农业研究*, 32(6): 236–243. [Yin X F, He J M, Guo P P. 2014. Evolvement of critical temperature on  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  limit and its effect on maize production in central Hexi Corridor [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 32(6): 236–243.]
- 张厚瑄, 张翼. 1994. 中国活动积温对气候变暖的响应 [J]. *地理学报*, 49(1): 27–36. [Zhang H X, Zhang Y. 1994. Preliminary discussion on the response of active accumulated temperature of China to climate warming [J]. *Acta Geographica Sinica*, 49(1): 27–36.]
- 赵恒和, 郭连云, 赵年武, 等. 2012. 共和盆地界限温度初终日 和积温对气候变化的响应 [J]. *水土保持研究*, 19(4): 207–211. [Zhao H H, Guo L Y, Zhao N W, et al. 2012. Responses of initial/final date and the accumulated temperature steadily above the agricultural threshold temperature to climate change in Gonghe Basin, Qinghai Province [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 19(4): 207–211.]
- Burger M, Dumlao M R, Wang J, et al. 2017. Cover crop development related to nitrate uptake and cumulative temperature [J]. *Crop Science*, 57(2): 971–982.