

甘肃省近 55 年来积温变化趋势特征分析

王国强, 张勃, 张耀宗, 唐敏, 马彬

(西北师范大学 地理与环境科学学院, 兰州 730070)

摘 要: 选用甘肃省 27 个资料序列较长的气象站点 1960—2014 年日平均气温资料, 运用线性倾向估计、M-K 检验等气候统计诊断方法, 对近 55 年来甘肃省 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的时间变化趋势、突变特征进行了检测分析, 采用基于 ArcGIS 的混合插值法对其空间分布特征及变化趋势进行了分析。结果表明: (1) 甘肃省稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温空间分布总体呈现“自东南向西北, 由平川、河谷、盆地向高原和高山逐渐减少”的布局; (2) 1960—2014 年稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温分别以 $66^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $64.75^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的倾向率呈显著上升趋势, 并均在 1998 年发生了突变, 突变前后积温增加幅度的空间分布总体呈“随纬度增高由西南向东北增大”的格局; (3) 气候带的分布在气候变暖形势下呈现出整体向高海拔扩张和高纬度北移的趋势, 具体表现为北亚热带、中温带以及暖温带区域逐渐扩大, 高原气候带区域减少。

关键词: 甘肃省; 积温; 气候带; 特征分析

中图分类号: P468

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)05-0193-06

Variation Tendency of Accumulated Temperature in Gansu Province in Recent 55 Years

WANG Guoqiang, ZHANG Bo, ZHANG Yaozong, TANG Min, MA Bin

(College of Geography and Environment, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Based on the daily average air temperature data obtained from 27 meteorological stations in Gansu Province during the period from 1960 to 2014, the temporal and abrupt change characteristic of accumulated temperature steadily above 0°C and 10°C over the recent 55 years were identified by using linear trend estimation and Mann-Kendall test, ArcGIS-based mixed interpolation was used to analyze the spatiotemporal change of accumulated temperature steadily above 0°C and 10°C in 1960—2014, before and after their discontinuity ascension in recent 55 years. The results show that: (1) the spatial distribution of performance of accumulated temperature steadily above 0°C and 10°C gradually reduce from southeast to northwest, and from the plains, valleys, to plateaus and mountain basin in Gansu Province; (2) the accumulated temperature steadily above 0°C and 10°C increased significantly along with climate warming, and the regression coefficient of accumulated temperature was $66^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ and $64.75^{\circ}\text{C}/\text{decade}$, these changes experienced significant mutation in 1998 whereby the rate of change before and after accumulated temperature steadily above 0°C and 10°C was different in different areas that increases with increase of latitude from southwest to northeast; (3) the change of climate zones expanded to high altitude and latitude along with climate warming, North Subtropical Zone and Temperate Zone gradually expanded, and Plateau Climate Zone showed the decreasing trend.

Keywords: Gansu Province; accumulated temperature; climatic zones; spatiotemporal characteristics

近百年以来, 全球正经历着一次以变暖为主要特征的气候变化。IPCC 第五次评估报告指出: 1880—2012 年, 全球平均地表温度升高了 0.85°C ($0.65\sim 1.06^{\circ}\text{C}$); 过去的 3 个连续 10 a 比之前自 1850 年以来的任何一个 10 a 都暖; 预估未来气候变暖仍将继

续, 21 世纪末全球平均地表温度在 1986—2005 年的基础上将升高 $0.3\sim 4.8^{\circ}\text{C}$ ^[1-2]。气候增暖势必引起热量资源的变化, 对农业生产将产生一定的影响。因此, 确切掌握各地的热量资源状况, 对因地制宜的安排作物布局、合理的部署农业生产是非常重要的^[3]。

收稿日期: 2016-02-25

修回日期: 2016-03-06

资助项目: 国家自然科学基金(41561024); 高校博士学科点专项科研资助项目(20136203110002); 生态经济学省级重点学科(5002-021)

第一作者: 王国强(1990—), 男, 甘肃环县人, 硕士研究生, 研究方向为区域环境与资源开发。E-mail: wanggq1005@126.com

通信作者: 张勃(1963—), 男, 甘肃华池人, 教授, 博士生导师, 主要从事区域环境与资源开发研究。E-mail: zhangbo@nwnu.edu.cn

通常以 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温作为衡量热量资源的重要指标,日平均气温稳定通过 0°C 的持续期作为喜凉作物的生长季,或称农耕期,稳定通过 0°C 期间的积温是鉴定一个地区总的热量指标。 10°C 是喜温植物适宜生长的起始温度,也是喜凉作物迅速生长,多年生作物开始以较快速度积累干物质的温度^[3-4]。

目前,针对我国不同地区的热量资源变化,许多学者进行了研究,研究区域既有涵盖全国^[5]和各区域^[6-7]的分析,也有针对某省^[8-9]、市(县)^[10-11]的分析,研究内容涉及农业气候资源的分布与利用、作物生长季内热量资源的变化特征及其对作物生产、种植和耕作制度的影响等多方面。但是,在气候变暖的背景下全面系统地阐述甘肃省热量资源变化现状的研究还少见报道。以往的研究主要集中在单个热量资源指标或甘肃省某个研究子区^[12-13]的研究。甘肃省大部分地方为干旱和半干旱气候,特别是河东(黄河以东)雨养农业区,既是气候变化敏感区,又是生态环境脆弱带,农作物对气候变化的响应最为敏感^[3]。

本文拟利用甘肃省 27 个记录时间较长的气象站点 1960—2014 年的气象观测资料,选取 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ (10°C)积温及其持续天数作为指标,研究近 54 年甘肃省积温的时空分布特征,旨在明确全球气候变化背景下甘肃省积温和气候带分布现状及其已发生的变化,以期为该地区农业应对气候变化、合理开发和利用热量资源、调整种植区划和农业生产布局等提供科学依据。

1 资料和方法

1.1 研究区域和资料来源

选用甘肃省 27 个资料序列较长的气象站点 1960—2014 年逐日平均气温实测数据,研究分析近 55 年甘肃省日平均气温稳定 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ (10°C)积温的时空变化规律。研究区域、地形地貌和所选气象站点的分布情况见图 1。气象数据来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>)。数字高程(Digital Elevation Models, DEM)数据采用美国地质调查局(U. S. Geological Survey, USGS)发布的全球 90 m 空间分辨率 DEM 数据;研究区边界数据采用国家基础地理信息中心发布的 1:400 万中国行政区划数据。

1.2 研究方法

1.2.1 界限温度起止日期和积温的确定与计算 积温是表示某地或某时温度特点的指标之一,积温值的大小可表征该地区或该时段内热量资源的多少。稳定通过 0°C 的时期通常被称为适宜农耕期,期间积温的大小与作物生长发育、产量和品质等密切相关。日平均气温稳定通过 10°C 是喜温作物的生长及三麦等夏熟作物积极生长期,也是大多数乔木发芽、枯萎的

界限温度,积温的多少会影响到作物干物质的积累及产量的形成^[14]。为了消除日平均气温逐日变化的不稳定性波动,采用五日滑动平均法确定某一年份通过某界限温度的起止日期^[15],累加此时间段内的日平均温度,即得到 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 及 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温。

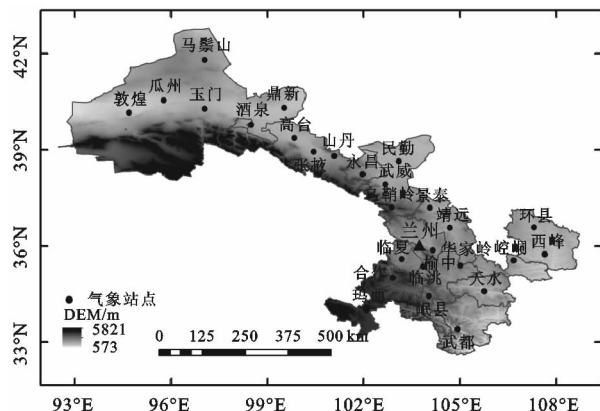


图 1 甘肃省地理位置及气象站点分布

1.2.2 热量要素变化趋势及气候突变分析方法 分别用线性倾向率和 Mann-Kendall(以下简称 M-K 法)对研究区热量要素的变化趋势、突变特征进行分析和检测,具体方法见文献^[16]。

1.2.3 热量要素及其变化量空间分布的栅格化数学模型 甘肃省地域辽阔,地势起伏较大,复杂的地貌形成了多样的气候类型。为了提高热量要素空间分布模拟的精度,本文采用多元线性回归模型方法(宏观地理因子的三维一次趋势面模拟+残差内插),对其进行 200 m \times 200 m 栅格点的空间插值模拟^[17]。即:

$$y = \bar{y} + \epsilon = b_0 + b_1\theta + b_2\varphi + b_3\lambda + \epsilon \quad (1)$$

式中: y 为各热量要素的栅格点模拟值; \bar{y} 为宏观地理因子的各热量要素的栅格点模拟值; ϵ 为局部小地形因子和随机因素对各热量要素的影响,即残差项; θ 为经度; φ 为纬度; λ 为海拔; b_0, b_1, b_2, b_3 为待定系数。残差项的插值采用反距离加权(IDW),获得模拟残差栅格图。

利用上述方法,在 ArcGIS 10.1 平台上完成基于数字高程(DEM)数据的甘肃省 1960—2014 年各热量要素 200 m \times 200 m 栅格精细化分布式模拟。采用同样的方法,分别完成各热量要素突变前和突变后多年平均值的精细化模拟分布,将突变后的栅格数据与突变前的相减,即可获得突变前后各热量资源变化量的空间模拟分布。

2 结果与分析

2.1 积温的空间分布特征

2.1.1 日平均气温稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温空间分布特征 全省日平均气温稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的期间的积温为 1 300~5 600 $^{\circ}\text{C}$,空间分布趋势大致自东南向西

北,由河川、谷地向山顶递减(图 2A)。热量资源相对比较丰富的地区有两个,一个在陇南的南部,日平均气温稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 期间的积温为 $4\,000\sim 5\,600^{\circ}\text{C}$;另一个在河西走廊西部的安敦盆地,达 $4\,000^{\circ}\text{C}$ 以上。热量不足的地区也有两个:一个是甘南高原,为 $1\,400\sim 2\,300^{\circ}\text{C}$;另一个在祁连山区,为 $1\,300\sim 2\,400^{\circ}\text{C}$ 。河西走廊大部分地方为 $3\,000\sim 3\,800^{\circ}\text{C}$,该地区积温

表 1 甘肃省热量资源与宏观地理因子的模拟模型

热量要素	与宏观地理因子的模拟分析	负相关系数	方差	显著水平
稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温	$22007.13-195.92\theta-85.45\varphi-1.53\lambda$	0.9718	147.94	0.001
稳定通过 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温	$19367.78-152.43\theta-78.89\varphi-1.72\lambda$	0.9831	221.14	0.001

2.1.2 日平均气温稳定通过 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温空间分布特征 日平均气温稳定通过 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温,全省在 $300\sim 4\,900^{\circ}\text{C}$ (图 2B)。分布趋势大致与日平均气温稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温相同。

河西走廊大多数地方在 $2\,100\sim 3\,300^{\circ}\text{C}$,其中安敦盆地在 $3\,500^{\circ}\text{C}$ 以上,是仅次于陇南南部的热量丰富区,祁连山区和马鬃山区为 $300\sim 2\,300^{\circ}\text{C}$,是仅次于甘南高原的热量资源不足区。陇中大部分地区

受山体垂直梯度的影响比纬度表现的更明显,等积温线基本与地形等高线趋于一致,由祁连山自南向北和由马鬃山自北向南递增,积温与海拔高度之间存在密切的负相关。陇中一般为 $3\,000\sim 3\,500^{\circ}\text{C}$,华家岭为 $2\,100^{\circ}\text{C}$ 。陇东一般为 $3\,200\sim 3\,900^{\circ}\text{C}$,积温等温线与塬区等高线大体一致,在六盘山两侧等积温线与山体走向一致。陇南北部为 $3\,500\sim 4\,100^{\circ}\text{C}$ 。

为 $2\,300\sim 2\,900^{\circ}\text{C}$,其中黄河沿岸因海拔较低在 $3\,000^{\circ}\text{C}$ 以上,西南部二阴山区为 $1\,700\sim 2\,200^{\circ}\text{C}$,华家岭为 $1\,300^{\circ}\text{C}$ 。陇东一般为 $2\,600\sim 3\,300^{\circ}\text{C}$,其中泾河和马莲河各水系较高,在 $3\,000^{\circ}\text{C}$ 以上,塬区和山区较少,在 $2\,600\sim 3\,300^{\circ}\text{C}$ 。陇南北部 $3\,000\sim 3\,800^{\circ}\text{C}$,陇南南部在 $4\,500^{\circ}\text{C}$ 以上,是全省热量资源最丰富的地区。甘南高原 $330\sim 1\,500^{\circ}\text{C}$,是热量资源不足区之一。

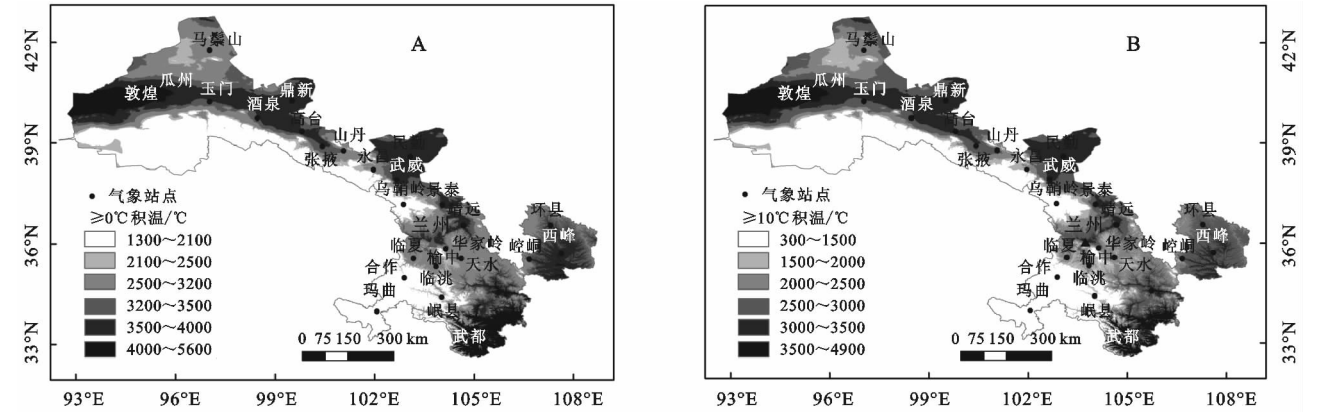


图 2 甘肃省稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 及 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温空间分布

2.2 积温的变化趋势及突变特征

2.2.1 日平均气温稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温变化趋势及突变特征 受气温变化和起止日期的共同影响,1960—2014 年,甘肃省稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温以 $66^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的倾向率呈极显著($\alpha=0.001$)的上升趋势,55 年来升高了 180.79°C (图 3A)。通过 M-K 检测看出(图 3C),其正序列曲线 UF 在 1995 年之前基本均为负值,1995 年之后迅速由负变正,并且在 2005 年突破了($\alpha=0.01$)的临界线。结合稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温 10 年线性趋势,可以看出,全省稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温在 20 世纪 60 年代呈下降趋势,70 年代初到 80 年代末有轻微上下波动趋势,总体呈基本稳定的状态,90 年代以后稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温开始呈迅速增加趋势,进入 21 世纪,这种增加趋势有所减缓。

此外,UF 正序列特征曲线与逆序列特征曲线在 1998 年有一个交点,这说明甘肃稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温在 1998 发生了突变性的增加。突变后(1998—2014 年)较突变前(1960—1997 年)全省稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温增加了 291.82°C (表 2)。但突变前后,全省各地稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温的变化具有明显的区域性差异(图 4A),总体上随纬度增高由西南向东北增大。增加幅度最大的地区是陇南南部和河西走廊的南部,增加幅度在 350°C 以上,增加幅度较小的区域主要在祁连山区和甘南高原,增加幅度不超过 200°C 。从地域分布看,河西地区平均增温为 280°C ,其中北部为 310°C ,中部为 275°C ,南部及安敦盆地分别为 350°C 和 330°C ;河东地区平均增温为 270°C ,其中陇中地区和甘南高原为 $120\sim 260^{\circ}\text{C}$,陇东地区和陇南在 330°C 以上。

表 2 1960—2014 年甘肃省稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 及 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温突变前、后多年平均值及变化量

项目	突变发生时间	突变前平均值/ $^{\circ}\text{C}$	突变后平均值/ $^{\circ}\text{C}$	突变前后变化量/ $^{\circ}\text{C}$
稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温	1998 年	3257.36	3549.18	291.82
稳定通过 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温	1998 年	2515.53	2790.31	274.78

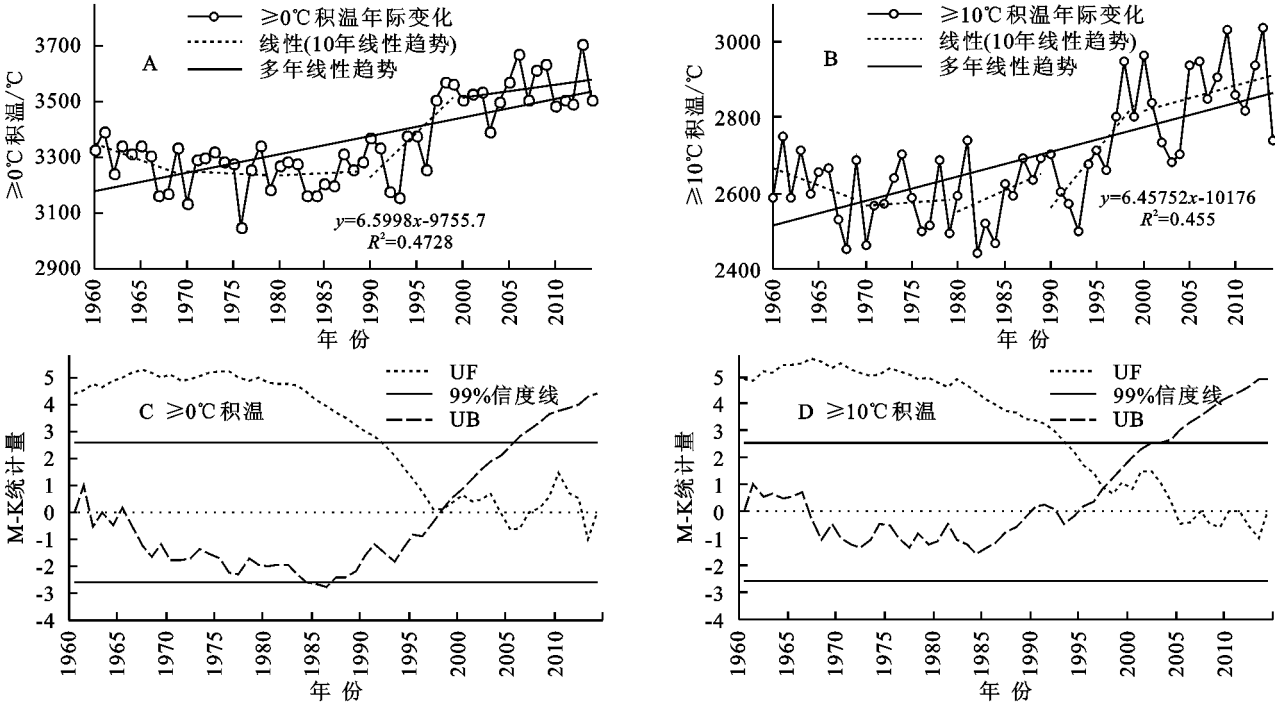


图 3 1960—2014 年研究区 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的时间变化及 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的突变特征

2.2.2 日平均气温稳定通过 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温变化趋势及突变特征 同样受气温变化和起止日期的共同影响,1960—2014 年,甘肃省稳定通过 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温以 $64.75^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的倾向率呈极显著 ($\alpha=0.001$) 的上升趋势,55 年来升高了 150.23°C (图 3B)。由 M-K 检测曲线看出 (图 3D),其正序列曲线 UF 在 20 世纪 60 年代呈波动下降趋势,70 年代和 80 年代上下波动,总体呈微弱上升趋势,90 年代之后 UF 曲线表现为持续上升的趋势,并于 2005 年突破了 ($\alpha=0.01$) 的临界线。结合稳定通过 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温 10 年线性趋势,可以看出,全省稳定通过 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温在 60 年代呈轻微降低趋势,70 年代初到 80 年代末有上下波动趋势,总体呈轻微增加趋势,90 年代以后稳定通过 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温开始呈迅速增加趋势,进入 21 世纪,这种增加趋势有所减缓。此外,UF 正序列特征曲线与逆序列特征曲线在 1998 年有一个交点,这说明甘肃稳定通过 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温在 1998 发生了突变性的增加。突变后 (1998—2014 年) 较突变前 (1960—1997 年) 全省稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温增加了 274.78°C (表 2)。突变前后,全省各地稳定通过 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温与稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温有着类似的变化趋势 (图 4B),增加幅度最大的地区是陇南南部、陇东南部和河西走廊的南部,增加幅度在 350°C 以上,增加

幅度较小的区域仍然主要在祁连山区和甘南高原,且在局部地区积温呈减少趋势。从地域分布看,河西地区平均增温为 310°C ,其中北部为 315°C ,中部为 310°C ,南部及安敦盆地分别为 330°C 和 270°C ,祁连山区增加幅度最小,大部分地区在 140°C 以下;河东地区平均增温为 280°C ,其中陇中地区和甘南高原分别为 220°C 和 240°C ,陇东地区和陇南在 320°C 以上,陇南南部达 350°C 。

2.3 气候变暖对气候带的可能影响

通常以日平均气温稳定通过 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的持续天数作为划分气候带的主要指标,反映某区喜温作物气候生长期的长短,是决定喜温作物生长和分布的重要指标之一。甘肃省从南到北分为北亚热带和温带,温带再细分为暖温带和中温带。对于靠近青藏高原的祁连山区和甘南高原,由于海拔高、面积大、气候寒冷,另列为高原气候区。鉴于本文研究区气候带特点,重点通过对比 1960—1979 年和 1980—2014 年两阶段主要的气候带指标变化情况来确定甘肃省气候带的可能变化。各气候带的划分指标参照郑景云等^[18]研究,即以 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温持续日数 100 d,170 d 和 220 d 作为甘肃省气候带划分的界限。

图 5 为两阶段 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 持续天数为 100 d,170 d 和

220 d 等值线的变化,由图 5 可见, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 持续天数为 100 d 的等值线有两段,是高原气候区与中温带的分界线,一段在甘南高原另一段在祁连山区,在甘南高原,与阶段 I 相比,阶段 II $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 持续天数为 100 d 的等值线中心向高海拔地区抬升,移动约 10.44 km,推移面积为 2 231.15 km^2 ;在祁连山区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 持续天数为 100 d 的等值线中心亦向高海拔地区抬升,移动约 16.65 km,推移面积为 15 986.59 km^2 。 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 持

续天数为 170 d 是暖温带与中温带的分界线,等值线也有两段。在安敦盆地,阶段 II $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 持续天数为 170 d 的等值线中心相对阶段 I 向东推进约 11.89 km,推进面积约 11 666.29 km^2 ;在陇南北部, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 持续天数为 170 d 的等值线中心向北推移约 10.46 km,推移面积约 2 934.34 km^2 。在陇南南部,暖温带与北亚热带的分界线,即 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 持续天数为 220 d,向北推进约 21.93 km,推移面积约 3 620.13 km^2 。

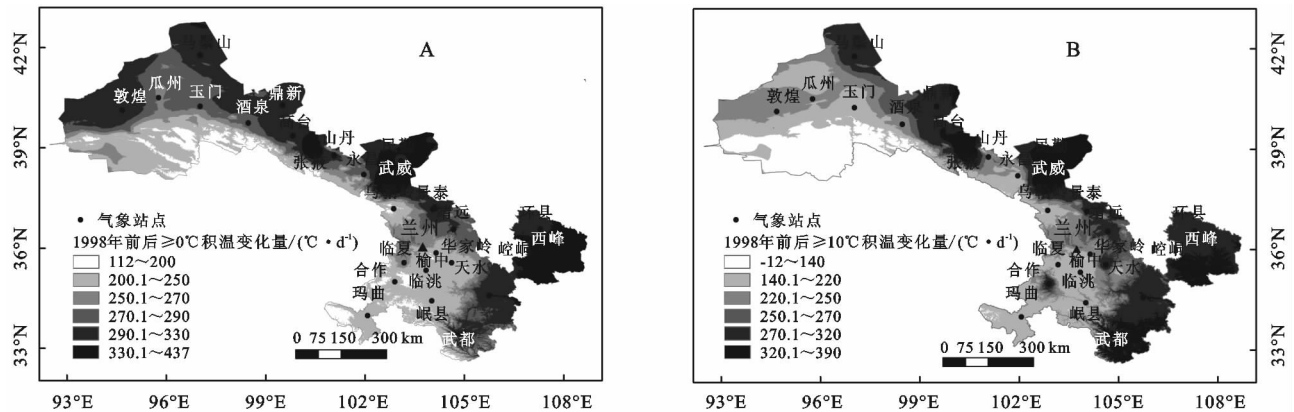


图 4 甘肃省稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 及 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温突变前后变化量空间分布

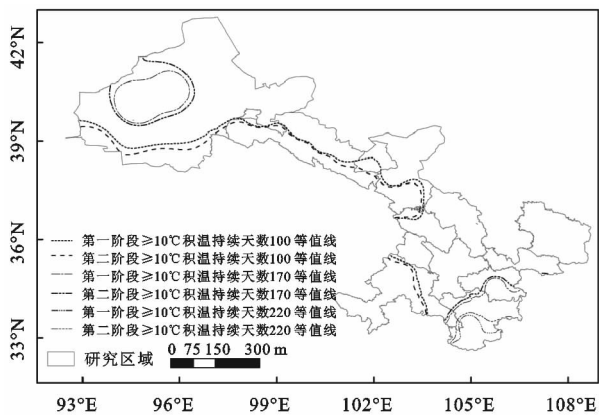


图 5 1960—2014 年甘肃省两阶段气候带的空间变化

综上所述,通过对比时段 I (1960—1979 年)和时段 II (1980—2014 年)的气候带分布可知,时段 II 的气候带分布较时段 I 呈现北亚热带、中温带以及安敦盆地的暖温带区域逐渐扩大,陇南北部的暖温带和高原气候带区域呈减少的趋势,气候带的分布在气候变暖形势下呈现出整体向高海拔扩张和向高纬度北移的趋势。

2.4 积温变化对作物种植的影响

在气候变暖的背景下,积温的增加会对农业造成一定的影响。一方面,作物生长期延长,生长期热量增加,有利于种植界限向北、向高海拔扩展以及农业生产布局和种植制度的调整,对提高农产品产量和质量都有重要意义。就甘肃省而言,气候变暖带来的积温增加及积温带北移东扩使得进入 20 世纪 90 年代后,甘肃省各地作物种植结构均发生很大的变化。总

的来说,在河西地区,玉米和棉花种植比例明显增加,而小麦种植比例明显减少,从主要以小麦为主的粮食作物种植结构演化为以玉米和棉花为主的格局^[19];在甘肃中部地区,春小麦面积逐年缩小,冬小麦和杂粮种植扩大,玉米的种植比例逐年上升,马铃薯种植逐渐形成规模,形成以冬小麦和玉米为主的种植格局^[20-22];在甘肃东南部地区,春小麦和冬小麦面积逐年缩小,玉米、冬油菜和其他喜温的经济作物种植比例逐年上升^[23]。复种、间作套种等种植技术广泛应用,一熟制正向多熟制发展的地区扩大。另一方面,随着积温界限的北移和高海拔扩张,原本受热量限制的病虫害逐渐向较高纬度和高海拔扩散,为农业病虫害及杂草繁衍提供了更为适宜的生长环境^[20];同时,随着气候变暖,干旱发生的强度和频率也随之发生变化,干旱使得土壤水分蒸发加剧,水分亏盈增加,会抑制热量资源所发挥的作用,使得作物致灾风险增加^[21]。

3 结论

(1) 甘肃省稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温及稳定通过 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温等热量要素的空间分布总体呈现“自东南向西北,由平川、河谷、盆地向高原和高山逐渐减少”的布局。

(2) 在全球变暖背景下,1960—2014 年甘肃省稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温及稳定通过 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温分别以 $66^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $64.75^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的倾向率呈显著上升

趋势,并均在1998年发生了突变,但变化具有明显的区域性差异,突变后较突变前,稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温及稳定通过 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温增加幅度的空间分布呈“随纬度增高由西南向东北增大”的格局。

(3) 对比时段 I (1960—1979 年) 和时段 II (1980—2014 年) 的研究区气候带变化情况,北亚热带、中温带以及安敦盆地的暖温带区域逐渐扩大,陇南北部的暖温带和高原气候带区域呈减少的趋势,气候带的分布在气候变暖形势下呈现出整体向高海拔扩张和向高纬度北移的趋势。

(4) 近 55 a 甘肃省积温得到了较明显的改善,20 世纪 90 年代中期以来较其之前稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温及稳定通过 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温分别增加了 291.82°C 和 274.78°C ,受其影响,一方面,作物生长期延长,生长期热量增加,有利于种植界限向北、向高海拔扩展以及农业生产布局和种植制度的调整,对提高农产品产量和质量都有重要意义。另一方面,随着积温界限的北移和向高海拔扩张,原本受热量限制的病虫害逐渐向较高纬度和高海拔扩散;同时,随着气候变暖,干旱发生的强度和频率也随之发生变化,使得作物致灾风险增加。因此,根据甘肃省积温变化的区域特点,科学调整作物种植结构和布局,加大病虫害的防治力度,是适应和应对气候变化,趋利避害地开发应用农业气候资源,促进甘肃农业生产持续稳定发展的有效措施。

参考文献:

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2013:the Physical Science Basis [M]. Cambridge, UK:Cambridge University Press, 2014.
- [2] 秦大河. 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,2014,10(1):1-6.
- [3] 李栋梁,刘德祥. 甘肃气候[M]. 北京:气象出版社,2000.
- [4] 欧阳海,郑梦忠,王雪娥,等. 农业气候学[M]. 北京:气象出版社,1990.
- [5] 胡琦,潘学标,邵长秀,等. 1961—2010 年中国农业热量资源分布和变化特征[J]. 中国农业气象,2014,35(2):119-127.
- [6] 杨建莹,梅旭荣,严昌荣,等. 华北地区气候资源的空间分布特征[J]. 中国农业气象,2010,31(1):1-5.
- [7] 李硕,沈彦俊. 气候变暖对西北干旱区农业热量资源变化的影响[J]. 中国生态农业学报,2013,21(2):227-235.
- [8] 明惠青,唐亚平,孙婧,等. 近 50 年辽宁无霜期积温时空演变特征[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(2):276-280.
- [9] 普宗朝,张山清,李景林,等. 近 50 年新疆冬季热量资源时空变化[J]. 干旱地区农业研究,2014,32(2):40-46.
- [10] 唐湘玲,刘月兰,魏文寿. 石河子地区近 46 年来积温变化趋势特征研究[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(11):83-87.
- [11] 张智,林莉. 宁夏近 40 多年积温及不同积温期降水量变化研究[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(2):231-234.
- [12] 张勃,康淑媛,刘艳艳,等. 甘肃张掖市冬季气温变化的时空特征[J]. 地理研究,2010,29(1):137-144.
- [13] 王媛媛,张勃. 1971 年至 2010 年陇东地区霜冻与积温变化特征[J]. 资源科学,2012,34(11):2181-2188.
- [14] 曲曼丽. 农业气候实习指导:农业气候分析方法 30 例 [M]. 北京:北京农业大学出版社,1991.
- [15] 王树廷. 关于日平均气温稳定通过各级界限温度初终日期的统计方法[J]. 气象,1982(6):29-30.
- [16] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007.
- [17] 戴声佩,李海亮,罗红霞,等. 1960—2011 年华南地区界限温度 10°C 积温时空变化分析[J]. 地理学报,2014,69(5):650-660.
- [18] 郑景云,尹云鹤,李炳元. 中国气候区划新方案[J]. 地理学报,2010,65(1):3-12.
- [19] 王鹤龄,王润元,张强,等. 甘肃省作物布局演变及其对区域气候变暖的响应[J]. 自然资源学报,2012,27(3):413-421.
- [20] 邓振镛,张强,徐金芳,等. 全球气候增暖对甘肃农作物生长影响的研究进展[J]. 地球科学进展,2008,23(10):1070-1078.
- [21] 刘德祥,董安祥,邓振镛. 中国西北地区气候变暖对农业的影响[J]. 自然资源学报,2005,20(1):119-125.
- [22] 殷雪莲,何金梅,郭萍萍. 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,2014,32(6):236-243.
- [23] 刘德祥,赵红岩,董安祥,等. 气候变暖对甘肃夏秋季作物种植结构的影响[J]. 冰川冻土,2005,27(6):806-811.