

黄土高原红枣种植区积温变化特征分析

张维敏, 王景红

(陕西省经济作物气象服务台, 西安 710014)

摘要:为了揭示黄土高原红枣种植区积温的变化特征,为红枣产业的布局 and 科学管理提供依据。利用 1971—2010 年 12 个气象站日平均气温资料,运用线性倾向估计、M-K 及小波分析等方法,对 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 5°C 、 10°C 积温及负积温的变化特征进行了分析。结果表明,40 年来 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 5°C 、 10°C 积温呈增加趋势,气候倾向率分别为 $64.557^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $66.235^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $48.023^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。负积温呈减少趋势,气候倾向率为 $-33.759^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。持续日数呈增加趋势,各界限温度初日呈提前趋势,终日除 10°C 外均呈推后趋势。各界限温度积温均发生突变现象,负积温突变出现最早 1986 年,其次为 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温 1995 年, $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 1996 年;各界限温度积温变化存在多时间尺度的周期变化特征,具有 2~4、9~11、32~33 a 左右的周期振荡,其中 32~33 a 左右的周期最为明显。黄土高原红枣种植区近 40 a 来 0°C 以上各界限温度积温和持续时间呈增加趋势,热量资源明显改善,适宜种植红枣的区域扩大;但需采取有效措施防御可能发生的干旱灾害及红枣病虫害。

关键词:积温;变化趋势;突变;Morlet 小波分析

中图分类号:P467

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)06-0232-06

Variation Characteristics of the Accumulated Temperature of Jujube Planting Zones in the Hilly Region of the Loess Plateau over the Past 40 Years

ZHANG Weimin, WANG Jinghong

(Shaanxi Meteorological Service Observatory for Economical Crops, Xi'an 710014, China)

Abstract: In order to understand the variation characteristics of accumulated temperature of jujube planting zones in the hilly region of the Loess Plateau and provide decision basis for distribution and scientific management of jujube, based on the daily temperature in twelve weather stations of the jujube planting zones in the hilly region of the Loess Plateau from 1971 to 2010, we analyzed the variation characteristics of $\geq 0^{\circ}\text{C}$, $\geq 5^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ accumulated temperatures and negative accumulated temperature change by means of linear trend estimates, M-K test and Morlet wavelet analysis. The results indicated that the $\geq 0^{\circ}\text{C}$, $\geq 5^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ accumulated temperatures showed an increasing trend over 40 years and they are increasing significantly by $64.557^{\circ}\text{C}/\text{decade}$, $66.235^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ and $48.023^{\circ}\text{C}/\text{decade}$, respectively. The negative accumulated temperatures decreased by $33.759^{\circ}\text{C}/\text{decade}$. The lasting days of accumulated temperature have increased too, the trend of beginning dates of accumulated temperatures appeared ahead. On the other hand, the ending dates were delayed except $\geq 10^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature. The main boundary temperature had an obvious warming mutation, the negative accumulated temperature changed at the earliest abruptly in 1986, followed by $\geq 0^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature(1995), $\geq 5^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ accumulated temperatures(1996). The main boundary temperature was fluctuating periodically with the variation of temporal scale, with 2~4, 9~11, 32~33 years fluctuation. The accumulated temperature of the main boundary and the lasting days had increasing trend and the heat resources improved significantly, the suitability areas for jujube expanded, but effective measures need to be taken for preventing the drought disaster and insect pests and diseases.

Keywords: accumulated temperature; variation tendency; mutation; Morlet wavelet analysis

积温是表征农业热量资源的重要指标,能够反映农业生产上可利用的温度条件及其持续时间。界限温度对农业生产具有重要意义,标志着某些物候现象或农事活动的开始、转折或终止的日平均温,界限内积温反映了积温在各个温度范围内的分布状况。界限温度以上的累积积温及持续日数是评价地区热量资源的重要指标之一。通过分析积温多少、季节分配及保证率,可以判定热量资源状况,为规划种植制度、发展优质、高产、高效作物提供重要依据^[1-4]。全球气候变暖已成为一个不争的事实,气候变化将改变热量资源的时空分布,对各地农业生产结构布局、作物种类品种、作物生长发育和产量形成以及耕作制度等将产生影响^[5]。黄土高原地处半湿润向半干旱和干旱气候变化的过渡带,是我国气候变化与环境的敏感脆弱区之一。枣树原产于我国,是我国特有的经济树种之一,退耕还林政策实施以来,枣树已成为黄土高原区退耕还林的主要树种^[6-7]。

近年来,红枣产业已成为黄土高原地区主导农业产业之一,在改善生态、增加收入方面发挥了重要作用,实现了兼顾生态与经济效益的目的。

许多学者对黄土高原地区气候变化特点进行研究并取得成果,该区域气温上升降水减少,正积温波动上升负积温减少,气候呈干暖化趋势^[8-10]。但是关于陕西山西黄土高原红枣种植区不同界限温度初日、终日、持续日数和活动积温变化的研究目前较为少见。因此,本文全面分析近 40 a 来黄土高原红枣种植区不同界限温度初终日、持续时间以及积温变化特征,初步探讨其变化对该区域红枣产业的影响,为红枣的生产布局、科学管理提供依据。

1 资料和方法

本研究选取陕西、山西 12 个红枣种植县地面气象站 1971—2010 年逐日平均气温资料,资料来源于

陕西省气象信息中心和山西气候中心。采用 5 日滑动平均法得到日平均气温稳定通过 0℃、5℃和 10℃的初终日期,然后分别计算始终日期间的持续日数和活动积温^[11-15]。通过线性倾向估计方法分析气象要素的年际变化趋势,用最小二乘法计算线性函数的斜率,斜率为正表示序列呈上升趋势,反正呈下降趋势,斜率的 10 倍作为各要素的气候倾向率,单位为℃/10 a,使用 SPSS 软件进行显著性检验,判断变化趋势是否显著。利用 Mann-Kendall 非参数统计检验法(M-K 检验)和滑动 T 检验(MTT)法对各要素进行突变检验;同时采用 Morlet 小波变化方法分析 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、5℃和 10℃积温及负积温的周期变化特征^[16-18]。

2 结果与分析

2.1 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温、持续日数及初终日

0℃是高等生物生命活动的起始温度,农业上通常将日平均气温稳定通过 0℃之间的日期作为适宜农耕地,期间的活动积温、持续日数表示该地区热量资源状况^[19-21]。近 40 a 黄土高原丘陵红枣种植区 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温呈波动上升趋势,气候倾向率 64.557℃/10 a,通过 0.01 显著性检验,增温显著。最大值 4513.1℃出现在 1999 年,最小值 3798.5℃出现在 1976 年。1971—1996 年距平多为负值比例为 73%,1997—2010 年距平多为正值比例为 86%;20 世纪 70、80 年代偏低 63.0℃,93.6℃,90 年代和 21 世纪 10 年代分别偏高 52.1℃,104.6℃。1995 年前后发生了低到高的突变,2005 年以后这种增暖趋势更为显著,突变前后差值为 198.9℃(图 1)。小波分析显示, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温距平存在 33 a,9 a,2~4 a 的振荡周期,长周期又包含短周期。33 a 左右的长周期具有全域性,经历了 2 个偏多和 1 个偏少的循环;9 a 左右的周期存在偏少和偏多的 4 个循环,20 世纪 80 年代以后较为明显;2~4 a 左右的周期偏多偏少交替频繁,2000 年以前表现较为明显(图 2)。

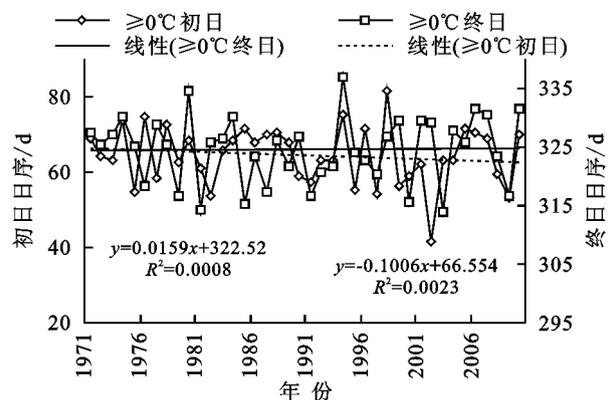
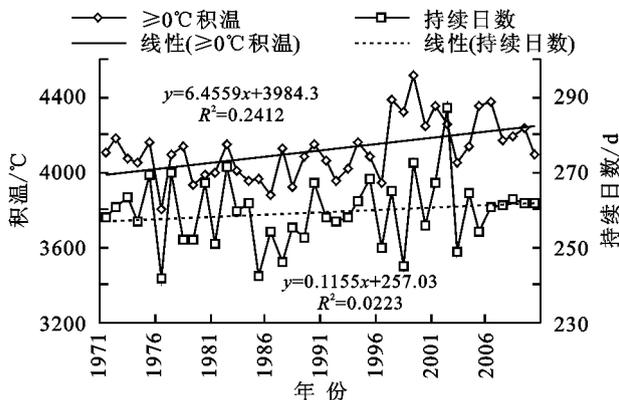


图 1 红枣种植区 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温、持续日数及初终日变化趋势

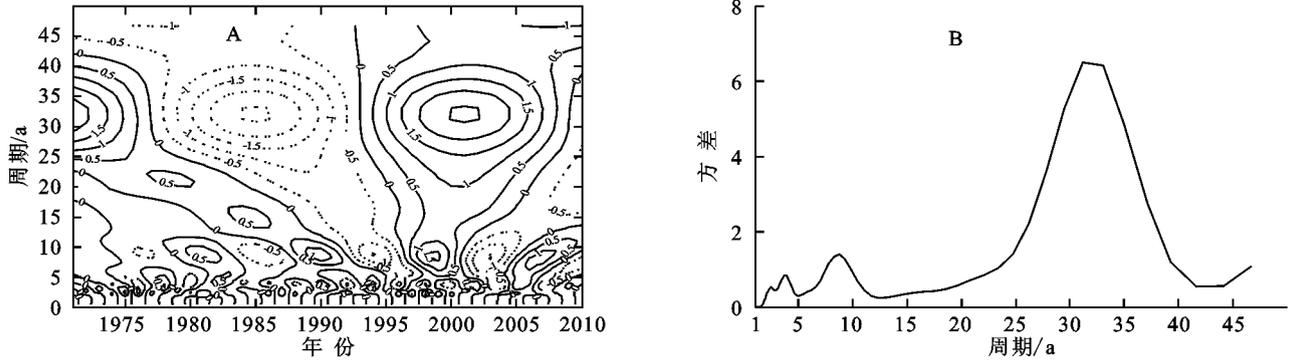


图 2 红枣种植区 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温小波变换系数、小波方差

$\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温持续日数均值为 259 d, 呈线性增加趋势, 倾向率为 1.2 d/10 a 未通过显著性检验。2002 年持续日数最长为 287 d, 1976 年和 1985 年最短为 242 d。从各年代来看, 21 世纪 10 年代最长 263 d, 其次分别为 20 世纪 70 年代和 90 年代 259 d, 80 年代最短为 256 d。M-K 突变检验显示持续日数 UF, UB 曲线交点较多, 结合滑动 T 检验 (MTT) 方法再判断, 结果表明持续日数未发生突变。 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温初日及终日日期序列变化分析显示, 1971—2010 年初日呈提前趋势, 终日呈弱推后趋势, 气候倾向率分别为: $-1.0 \text{ d}/10 \text{ a}$ 和 $1.6 \text{ d}/10 \text{ a}$, 均未通过显著性检验, 初终日变化趋势不显著。平均初日出现在 3 月 5 日, 最早出现在 2 月 11 日 (2002 年), 最晚出现在 3 月 18 日 (1994 年)。平均终日出现在 11 月 19 日, 最早出现在 11 月 7 日 (1981 年), 最晚出现在 12 月 3 日 (1994 年)。从年代际来看, 初日年代距平 20 世纪 70, 80 年代为正, 90 年代和 21 世纪初为负; 终日年代距平 20 世纪 70 年代和 21 世纪 10 年代为正, 80 年代和 90 年代为负。使用 M-K 突变检验方法和滑动 T 检验 (MTT) 方法对初终日进行突变分析, 初终日

期序列未发生突变现象。

2.2 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温、持续日数及初终日

5°C 多数树木开始生长, 期间的持续日数为全生长期, 40 a 间红枣种植区 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温呈上升趋势, 气候倾向率为 $66.235^{\circ}\text{C}/10 \text{ a}$, 且达到 0.01 显著性水平。最大值 4513.1°C 出现在 1999 年, 最小值 3798.5°C 出现在 1976 年。1996 年以前除 1975 年、1978 年、1982 年、1989 年外, 其余年份距平均为负值; 1997—2010 年除 2010 年外, 其余距平均为正值。20 世纪 70, 80 年代 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温分别偏低 77.0°C , 68.3°C , 90 年代和 21 世纪 10 年代分别偏高 42.1°C , 103.2°C 。1996 年发生从低到高的突变, 2005 年以后增温趋势更加显著, 突变前后差值为 236.9°C 。 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温序列主要存在 33 a, 9 a, 2~4 a 左右的振荡周期。33 a 的振荡周期变化非常明显, 具有全域性, 存在 2 个偏多和 1 个偏少的循环, 为第一主周期; 9 a 振荡周期从 80 年代开始较为明显, 经历了偏多偏少 4 个循环, 20 世纪 90 年代以后等值线较之前密集, 说明 90 年代以后变化比之前剧烈; 2~4 a 振荡周期波数多、频率高, 偏多偏少交替频繁 (图 3)。

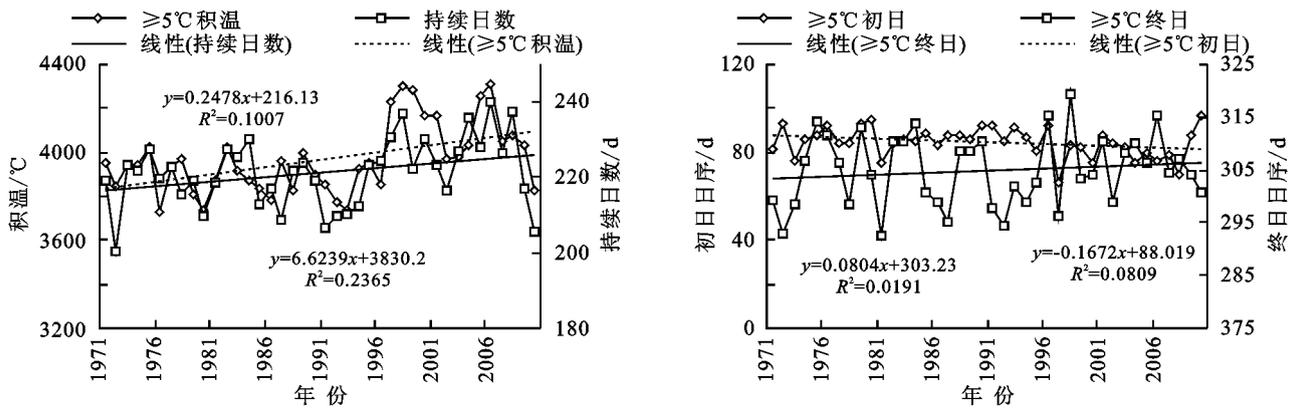


图 3 红枣种植区 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温、持续日数及初终日变化趋势

$\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温持续日数呈增加趋势, 气候倾向率为 $2.5 \text{ d}/10 \text{ a}$, 通过 0.05 显著性检验。40 a 平均持续日数为 206 d, 2006 年最长为 240 d, 1972 年最短为 201 d。21 世纪 10 年代持续日数最长为 226 d 偏多 4 d,

其次分别为 20 世纪 80, 90 年代 221 d 均偏少 1 d, 20 世纪 70 年代最短 218 d 偏少 3 d。根据 M-K 检验和滑动 T 检验, $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温持续日数在 1995 年发生了由少到多的突变, 2004 年以后增多更加显著。 $\geq 5^{\circ}\text{C}$

积温初日及终日日期序列分析可知,初日呈提前趋势,终日呈弱推后趋势,倾向率分别为 $-1.7\text{ d}/10\text{ a}$, $0.8\text{ d}/10\text{ a}$ 均未通过显著性检验,初日提前终日推后趋势不显著。平均初日出现在 3 月 26 日,最早出现在 3 月 7 日(1997 年),最晚出现在 4 月 6 日(2010 年)。平均终日出现在 11 月 1 日,最早出现在 10 月 19 日(1981 年),最晚出现在 11 月 15 日(1998 年)。20 世纪 70,80 年代初日距平为正,出现日期较晚,90 年代和 21 世纪 10 年代距平为负,出现日期较早。终日年代际距平 20 世纪 70,80 年代为 0,年代均值与参考值持平;90 年代距平为负,相对较早;21 世纪 10 年代则为正,相对较晚。 $\geq 5^\circ\text{C}$ 积温初日和终日 M-K 分析结果 UF 和 UB 曲线交点较多,经过滑动 T 检验进行判断,结果表明初终日未发生突变(图 4)。

2.3 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温、持续日数及初终日

10°C 是喜温植物适宜生长的起始温度和气候区划中的主要指标, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温反映喜温作物的热量状况。

黄土高原丘陵区以木枣为主,据研究木枣生长所需 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温为 $3\ 000\sim 3\ 200^\circ\text{C}$ [22],近 40 a 来该区域 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温最大值 $3\ 985.8^\circ\text{C}$ (1998 年),最小值 $3\ 348.0^\circ\text{C}$ (1986 年),能够满足红枣所需热量资源。 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温呈上升趋势,气候倾向率为 $48.023^\circ\text{C}/10\text{ a}$,达到 0.05 显著性水平。1996 年以前大部分年份距平为负值,比例为 73%;1997—2010 年大部分年份距平为正值,比例为 86%。20 世纪 70,80 年代 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温偏低 32.3°C , 59.8°C ,90 年代和 21 世纪 10 年代分别偏高 23.2°C , 79.6°C 。M-K 检验结果显示 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温在 1996 年发生了由低到高的突变,突变后比突变前增加了 195.9°C 。 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温序列主要存在 31 a,9 a,3 a 左右的振荡周期。31 a 的振荡周期变化非常明显,具有全域性,存在 2 个偏多 1 个偏少的循环,为近 40 a 的主周期;9 a 振荡周期有明显冷暖交替特征,经历了 5 个偏多 4 个偏少的循环,20 世纪 80 年代以后等值线较之前密集积温变化比之前剧烈;4 a 振荡周期波数多、频率高,冷暖交替频繁(图 5)。

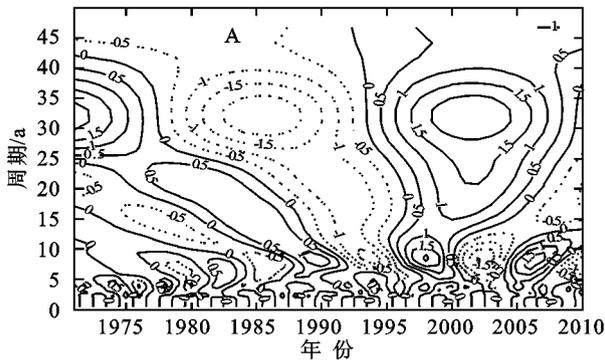


图 4 红枣种植区 $\geq 5^\circ\text{C}$ 积温小波变换系数、小波方差

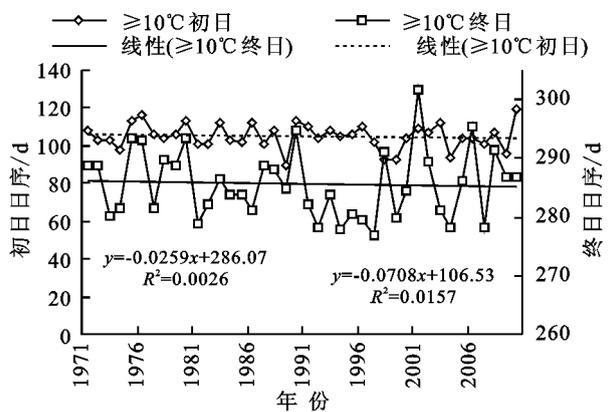
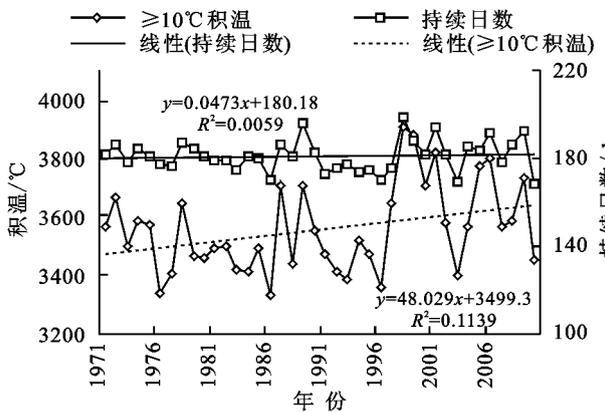
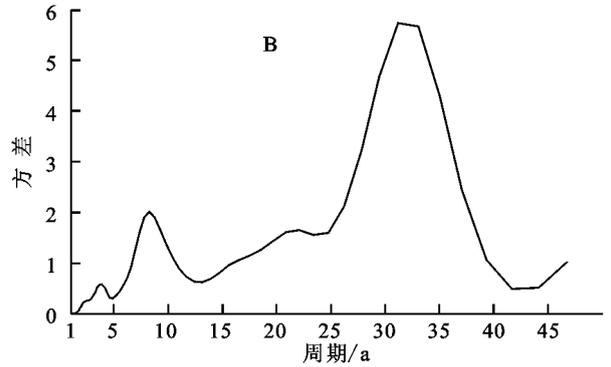


图 5 红枣种植区 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温、持续日数及初终日变化趋势

$\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 40 a 平均持续日数为 181 d,呈线性增加趋势,倾向率为 $0.5\text{ d}/10\text{ a}$ 未通过显著性检验。1998 年最长为 199 d,2010 年最短为 169 d。21 世纪 10 年代持续日数最长为 183 d 偏多 2 d,其次分别为 20 世纪 70 年代 182 d 偏多 1 d,80 年代 180 d 均偏少 1 d,90 年代最短 179 d 偏少 2 d。M-K 突变检验结果交点较多,结合滑动 T 检验进行判断,结果表明 \geq

10°C 积温持续日数没有突变点。 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温初日及终日日期序列分析可知,初日终日均呈弱提前趋势,倾向率分别为 $-0.7\text{ d}/10\text{ a}$, $-0.3\text{ d}/10\text{ a}$ 均未通过显著性检验,初日终日提前趋势不显著。平均初日出现在 4 月 15 日,最早出现在 3 月 30 日(1989 年),最晚出现在 4 月 28 日(2010 年)。平均终日出现在 10 月 12 日,最早出现在 10 月 4 日(1997 年),最晚出现

在10月29日(2001年)。从年代来看,20世纪70年代、21世纪10年代初距平为正,出现较晚;20世纪80、90年代距平为负,出现较早。终日年代际距平20世纪70年代为正,出现较晚;80年代距平为0与参考均值持平;90年代和21世纪10年代距平为正,出现相对较晚。 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温初日和终日M-K分析结果UF和UB曲线交点较多,经过滑动T检验再进行判断,结果表明初终日未发生突变(图6)。

2.4 负积温

负积温是日平均气温小于等于 0°C 的累积值,是表示冬季的寒冷程度的重要参数,作为重要的农业气候生态指标,其高低是鉴定作物、果树安全越冬和影响病虫害发生蔓延的基本热量条件之一,同时也与农作物种植格局变化有关^[23-26]。红枣种植区负积温呈下降趋势,气候倾向率为 $-33.759^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,且达到

0.05显著性水平。最大值 733.9°C 出现在1984年,最小值 324.0°C 出现在2002年。1971—1986年多距平比例为81%,负积温相对较多;1987—2010年多负距平比例为83%,负积温相对较少。20世纪70、80年代负积温相对偏多 $46.8, 22.7^{\circ}\text{C}$,90年代和21世纪10年代分别偏少 $46.8^{\circ}\text{C}, 22.7^{\circ}\text{C}$,90年代偏少明显。结合M-K突变检验、滑动T检验以及全国负积温突变情况,最终确定负积温在1986年发生突变,突变后比突变前减少了 98.6°C 。负积温序列主要存在32 a, 11 a, 2~4 a左右的振荡周期。32 a的周期振荡变化具有全域性,经历了2个偏多1个偏少的循环;11 a周期振荡时序上具有全域性,为负积温的第一主周期,80年代中后期和90年代等值线较为密集负积温变化剧烈,主要经历了4个偏多3个偏的循环;4 a周期振荡分布较为复杂,冷暖交替频繁(图7)。

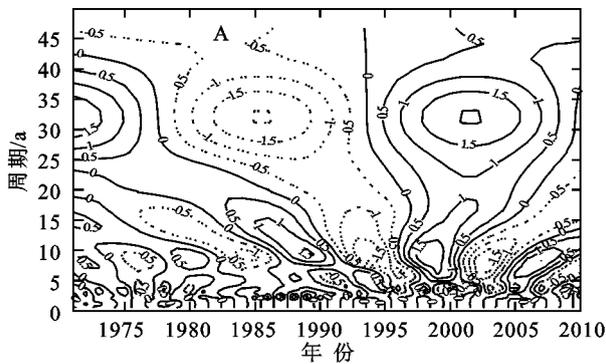


图6 红枣种植区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温小波变换系数、小波方差

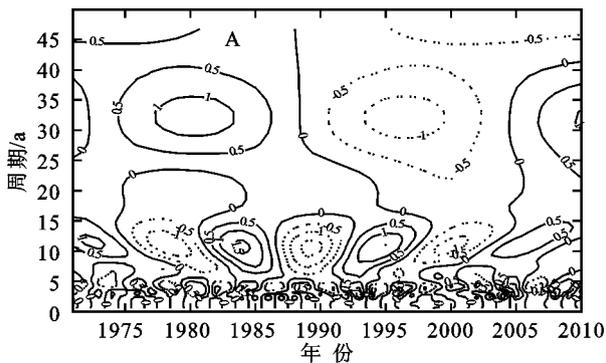


图7 红枣种植区负积温小波变换系数、小波方差

3 结论与讨论

近40 a来,黄土高原丘陵红枣种植区 $\geq 0^{\circ}\text{C}$, 5°C , 10°C 积温呈显著增加趋势,其中 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温增温最显著,每10 a增加 66.2°C ,其次为 $\geq 0^{\circ}\text{C}$, 10°C 气候倾向率分别为 $64.6^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $48^{\circ}\text{C}/10\text{a}$;负积温呈显著减少趋势,气候倾向率为 $33.8^{\circ}\text{C}/10\text{a}$;并分别于1995年、1996年、1996年、1986年发生了突变,且存在32~33 a左右的主周期。 $\geq 0^{\circ}\text{C}$, 5°C , 10°C 持续日数呈增加趋势,分别以 $1.2\text{d}/10\text{a}$, $2.5\text{d}/10\text{a}$, 0.5

$\text{d}/10\text{a}$ 的速率增加,初日呈提前趋势,气候倾向率分别为 $-1.0\text{d}/10\text{a}$, $-1.7\text{d}/10\text{a}$ 和 $-0.7\text{d}/10\text{a}$;终日 $\geq 0^{\circ}\text{C}$, 5°C 积温呈推后趋势 $1.6\text{d}/10\text{a}$, $0.8\text{d}/10\text{a}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 呈提前趋势 $-0.3\text{d}/10\text{a}$;各界限温度持续日数和初终日变化趋势均不显著。

在全球气候变暖的背景下,黄土高原丘陵红枣种植区近40 a来各界限温度积温均表现出不同程度的增加,热量资源得到改善,这种变化对红枣产业的发展产生一些影响。积温逐和持续日数增加,使红枣生长期延长,生长期内热量充足,可种植适宜区面积扩

大,对红枣的生长发育和产量形成有利。负积温减少能够降低枣树越冬冻害的几率,但也使枣树越冬期变短,枣园无效失墒增大加剧了干旱风险;各种病虫害进入越冬阶段推迟,病虫害基数增加,加剧红枣病虫害发生和流行,影响红枣的产量和品质。由此可见,热量资源变化对黄土高原丘陵红枣种植区的影响利弊皆有,仍存在诸多不确定因素。因此,应综合考虑光热水等气候资源变化趋势及共同影响,合理利用气候资源,调整品种和布局,促进红枣产业的健康发展。

参考文献:

- [1] 郑大玮,孙忠富.关于积温一词及其度量单位科学性问题的讨论[J].中国农业气象,2010,31(2):165-169.
- [2] 段若溪,姜会飞.农业气象学[M].北京:气象出版社,2002.
- [3] 古书鸿,严小冬,石艳,等.贵州省温度界限内积温特征分析[J].北京:中国农业气象,2011,32(4):521-524.
- [4] 屈振江.陕西农作物生育期热量资源对气候变化的响应研究[J].干旱区资源与环境,2010,24(1):75-79.
- [5] 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.
- [6] 马理辉,吴普特,汪有科.黄土丘陵半干旱区密植枣林随树龄变化的根系空间分布特征[J].植物生态学报,2012,36(4):292-301.
- [7] 李锐,刘国彬.改善生态与富民增收是黄土高原生态建设的中心[J].中国科学院院刊,2000,15(3):193-196.
- [8] 李振朝,韦志刚,文军,等.近50年黄土高原气候变化特征分析[J].干旱区资源与环境,2008,22(3):57-62.
- [9] 李志,赵西宁.1961—2009年黄土高原气象要素的时空变化分析[J].自然资源学报,2013,28(2):287-299.
- [10] 王毅荣.1961—2005年黄土高原地区积温演变[J].冰川冻土,2007,29(1):119-125.
- [11] 韩湘玲,孔扬庄.关于“界限温度”确定方法的讨论[J].中国农业气象,1984(3):55-57.
- [12] 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.
- [13] 刘实,王勇,缪启龙,等.近50年东北地区热量资源变化特征[J].应用气象学报,2010,21(3):266-278.
- [14] 王健,吕新,王江丽,等.石河子市近57年积温变化趋势特征研究[J].干旱区资源与环境,2013,27(6):154-159.
- [15] 孙杨,张雪芹,郑度.气候变暖对西北干旱区农业气候资源的影响[J].自然资源学报,2010,25(7):1153-1162.
- [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,1999.
- [17] 蒲金涌,李晓薇,李蓉.天水市1961—2010年积温变化特征[J].干旱区资源与环境,2013,27(5):34-39.
- [18] 万明波,程智,王文.青藏铁路沿线气温和降水的小波分析[J].干旱气象,2006,24(4):35-39.
- [19] 缪启龙,丁园圆,王勇,等.气候变暖对中国热量资源分布的影响分析[J].自然资源学报,2009,24(5):934-944.
- [20] 刘淑梅,高浩,黎贞发.气候变暖对天津农作物种植结构的影响[J].中国农业气象,2009(S1):42-46.
- [21] 李瑞英,任崇勇,张翠翠,等.气候变化背景下鲁西南地区农业气候资源变化特征[J].干旱地区农业研究,2012,30(6):254-260.
- [22] 李新岗,黄建,高文海.我国制干枣优生区研究[J].果树学报,2005,22(6):620-625.
- [23] 高桂芹,齐作辉.冬季负积温变化特征及其对冬小麦的影响[J].气象科技,2007,35(3):404-406.
- [24] 杨小利,辛吉武.甘肃省冬季负积温资源的变化特征及预测[J].资源科学,2007,29(4):114-120.
- [25] 李菊香,郭洪杰,谷永利,等.冀南地区冬季负积温特征及趋势分析[J].安徽农业科学,2011,39(33):20855-20856.
- [26] 高庆九,张荣,管兆勇.近50a来华北地区负积温变化特征[J].大气科学学报,2012,35(4):448-457.

(上接第231页)

- [10] 甘春英,王兮之,李保生,等.连江流域近18年来植被覆盖度变化分析[J].地理科学,2011,31(8):1019-1024.
- [11] 杨胜天,周旭,刘晓燕,等.黄河中游多沙粗沙区(渭河段)土地利用对植被盖度的影响[J].地理学报,2014,69(1):31-41.
- [12] 刘宪锋,任志远,林志慧,等.2000—2011年三江源区植被覆盖时空变化特征[J].地理学报,2013,68(7):897-908.
- [13] 李双双,延军平,万佳.近10年陕甘宁黄土高原区植被覆盖时空变化特征[J].地理学报,2012,67(7):960-970.
- [14] 刘宪锋,潘耀忠,朱秀芳,等.2000—2014年秦巴山区植被覆盖时空变化特征及其归因[J].地理学报,2015,70(5):705-716.
- [15] 张博胜,姜锦云,杨子生.中国退耕还林工程驱动下的滇东南喀斯特山区近8年土地利用变化研究:以文山县为例[J].中国农学通报,2010,26(22):338-343.