

姜燕敏,李靖,卢钊,等. 浙江丽水高温的多时间尺度气候变化特征及趋势演变[J]. 干旱气象, 2015, 33(3): 421-426. [JIANG Yanmin, LI Jing, LU Zhao, et al. High Temperature Temporal Distribution Characteristics and Its Trend Evolution in Lishui of Zhejiang Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(3): 421-426], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-03-0421

浙江丽水高温的多时间尺度 气候变化特征及趋势演变

姜燕敏^{1,2}, 李靖³, 卢钊⁴, 吴昊旻^{1,2}

(1. 南京大学大气科学学院, 江苏 南京 210093; 2. 浙江省丽水市气象局, 浙江 丽水 323000;
3. 湖北省黄冈市气象局, 湖北 黄冈 438000; 4. 浙江省遂昌县气象局, 浙江 遂昌 323300)

摘要: 利用1953~2013年丽水市逐日最高气温资料, 通过多尺度趋势分析方法研究丽水高温的初、终日日期, 以及高温在年、月尺度上的变化趋势, 并采用Morlet小波分析和多窗口谱分析对丽水高温的周期特征进行研究和检验。结果表明: 丽水高温初日提前, 终日延后, 高温持续时间显著拉长; 高温日数增多, 强度加大, 两者呈显著正相关关系, 且以21世纪初的高温最为显著; 高温主要分布在3~10月, 集中于6~9月, 且7月高温日数和强度都达到顶峰, 8月次之。高温在年际和年代际尺度上都有周期分量, 且不同的周期尺度高温的强度有所差异。高温在年代际尺度上以12 a的周期最为显著, 在年际尺度上2~6 a周期相对明显。

关键词: 高温日数; 极端最高气温; 周期; 丽水市

文章编号: 1006-7639(2015)-03-0421-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-03-0421

中图分类号: P468.0⁺21

文献标识码: A

引言

IPCC第四次评估报告^[1]指出, 近50 a全球气温以0.13℃/10 a的速度上升, 到21世纪末地表气温可能升高1.1~6.4℃。全球气候变暖已是不争的事实。近年来, 极端天气、气候事件逐渐成为全球气候关注的重点, 对高温的研究也日益引起人们的重视。气候变暖导致极端高温事件发生的概率增大^[2-5], 高温热浪风险显著上升, 给自然生态系统、人们正常生产生活带来严重影响。张可慧^[6]指出高温热害天气的增多, 导致物候季节提前或反常、极端气候灾害频发和持续干旱灾害加剧等; 翟盘茂等^[7]也证实了气候变暖背景下, 我国东部地区高温热浪天气更为明显, 东北和华北地区干旱趋势增加。徐金芳等^[8-9]分析了高温危害的原因, 指出大气环流异常是高温热浪形成的直接原因, 气候变暖、变干是导致高温热浪频繁发生的重要原因。

气象工作者对“火炉”南京^[10]、武汉^[11]、重

庆^[12]的高温气候变化特征已有研究, 浙江丽水市地处中亚热带, 季风影响显著, 冬暖春早, 雨热同步, 有着“秀山丽水、养生福地、长寿之乡”的称号, 但自从2003年丽水出现了“南方罕见高温热浪”天气, 并以43.2℃的高温破浙江省历史最高纪录, 创全国最高纪录, “火炉”这个称号也因此冠之于丽水。不少专家指出, 丽水近60 a来气温呈明显上升趋势, 气候倾向率达0.17℃/10 a, 气温升高导致夏季长度拉长^[13]。丽水的高温在浙江也是小有名气, 郭巧红等^[14]曾指出丽水的中东部是浙江酷热高温天气的高发区, 甚至40℃以上的高温日出现频次都很高。不仅在浙江, 甚至在华东, 丽水高温也是榜上有名, 且高居榜首。史军等^[15]也多次指出, 在华东地区, 浙江丽水站极端高温日数最多, 且高温日平均最高气温也最高。

本文对丽水高温的气候变化特征及周期演变趋势做进一步研究, 这不仅对丽水酷热天气的预报、预警可以提供技术支撑, 而且能为及时开展科学防御

收稿日期: 2014-08-29; 改回日期: 2014-09-24

基金项目: 丽水市高层次人才培养项目(2014RC24)、浙江省青年科技项目(2013QN13)及丽水市气象局科研集资项目(2014-09)共同资助

作者简介: 姜燕敏(1984-), 女, 工程师, 主要从事应用气象和农业气象服务等相关研究. E-mail: ziyajiang1984@163.com

通讯作者: 吴昊旻(1980-), 男, 高级工程师, 主要从事气候变化及气象网络等相关研究. E-mail: wuhaomin8048@163.com

和规划提供理论依据,对人们日常生活和农业生产起到趋利避害的作用。

1 资料与方法

文章所用资料为丽水 1953 ~ 2013 年逐日最高气温,资料序列长度为 61 a,共 732 个月,资料来源于丽水市国家气象观测站。丽水国家基本气象站最早建立于 1953 年 1 月 1 日,由于实施城市规划和建设致使探测环境遭到不同程度的影响,所以该站点先后迁移过 2 次,迁移时间分别在 1972 年 1 月 1 日和 2003 年 1 月 1 日,目前位于浙江省丽水市莲都区民俗乐园内(119°55'E,28°27'N,59.7 m)。

高温日数的划分,根据相关专家的研究结果^[16-17],将日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 定义为一个高温日。对高温的趋势变化和周期演变的研究,首先利用多尺度趋势分析方法^[18]分别从年、月的角度分析高温(高温日数和极端最高气温)的气候变化特征,其次通过 Morlet 小波^[19]分析高温的周期变化特征,最后采用小波方差^[11]和 MTM 多窗口谱分析^[20-21]对高温显著周期进行检验。

2 丽水高温的气候变化特征

2.1 高温初日、终日变化特征

图 1 给出了丽水市 1953 ~ 2013 年高温的初日、终日、以及两者相差日数的年变化特征。从 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的高温初日来看,近 61 a 来高温平均初日是 6 月 2 日,最早在 2007 年,3 月 30 日就出现 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的高温日,最晚的是 7 月 19 日,出现在 1973 年,最早与最

晚相差 111 d;其中 1950 ~ 1970 年代,高温首次出现日期主要表现为延后,1980 年代开始则以提前为主,特别是 1980 年代和 21 世纪初,提前最为明显。

从 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的高温终日来看,平均结束日是 9 月 10 日,最早的结束日是 8 月 13 日(1989 年),最晚的是 10 月 4 日(1973 年),两者相差 52 d;另外 1950 ~ 1980 年代高温最后出现日期主要表现为提前,其中 1950 年代中期至 1960 年代中期、1980 年代中期至 1990 年代初提前较为明显,而 1970 年代末至 1980 年代初一段时间主要表现为延后,1990 年代初开始高温终日提前和延后交替出现,但在 21 世纪初开始延后为主要的趋势。

从高温终日与初日的间隔天数来看,近 61 a 平均间隔时间为 100.3 d。其中 1950 ~ 1970 年代高温持续的时间较短,平均约 90.1 d,较 61 a 平均间隔日数差 10.2 d;而 1980 年代开始至 2013 年,高温间隔日数为 108.5 d,较常年偏多 8.3 d,尤其是 1979 ~ 1988 年和 2002 ~ 2013 年,初、终日平均间隔时间分别长达 117.3 d 和 121.2 d,较平均间隔天数长 17.0 d 和 20.9 d。

从一元线性拟合的变化趋势来看, $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的高温初日主要表现为提前,大约每 10 a 初日提前 3.6 d,且通过 0.05 显著性水平; $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的高温终日表现为延后,但延后并不显著;初日提前,终日延后,则两者之间的间隔日数进一步拉长,终日与初日的间隔天数表现为显著增多,气候倾向率达到 4.7 d/10 a,通过 0.05 的显著性水平。

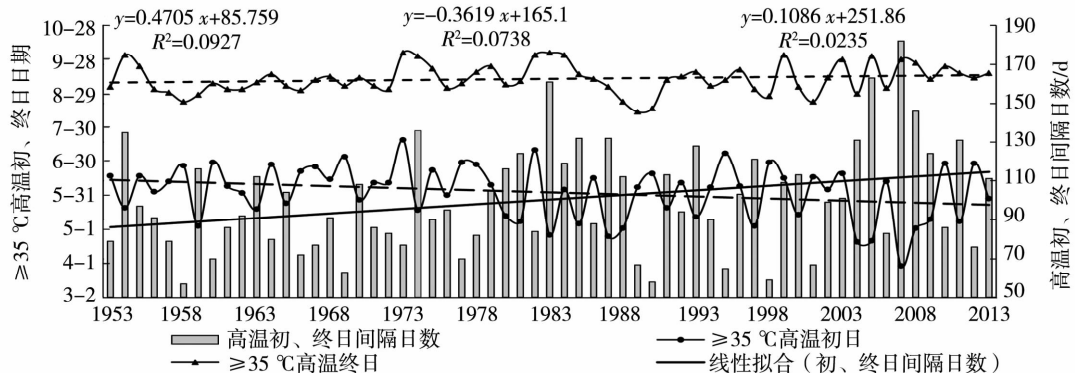


图 1 丽水高温初、终日期的变化特征

Fig. 1 The annual variation of the starting and ending dates of high temperature from 1953 to 2013 in Lishui

2.2 高温年变化特征

图 2 是丽水 1953 ~ 2013 年高温日数和最高气温的年变化特征。从一元线性拟合的变化趋势来看,高温日数和最高气温都呈上升趋势,即高温的主

要发展态势是高温日数增多,且高温强度增大。近 61 a 来,年平均 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的高温日数为 45.4 d,其中有 8 a 的高温日数少于 30 d,另外有 9 a 的高温日数多于 60 d,且以 1971 年高温日数最多,达到近 61 a

的最大值,74 d。

从 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温日数随时间变化来看,大致经历了6个时期,分别是1953~1962年、1972~1983年和1995~2002年的少高温日时段,1963~1971年、1984~1994年和2003~2013年的多高温日时段。其中1972~1983年是高温日偏少最明显的阶段,连续12 a高温日数低于61 a平均水平,特别是1973年高温日只有19 d,较常年偏少26.4 d,为近61 a来最低值,史军等^[22]也指出在华东地区,1973年是典型的少高温年份,尤其以7月的少高温日最为明显;而2003~2013年则是高温日偏多最显著的阶段,除2012年高温日数与常年持平外,其他年份高温日数都较常年显著偏多,尤其是2003年、2007年和2013年,高温强度最强,其中2003年受强盛稳定的副热带高压控制, $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温日数为61 a来最大值,分别达到40 d和14 d,且2003年出现了61 a来的极端最高气温43.2 $^{\circ}\text{C}$ 。据不完全统计,2003年丽水市的农作物受旱面积达到40333.3 hm^2 ,因高温干旱造成的农作物直接经济损失高达8500多万元^[23]。其次,2013年 $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温日数分别达到31 d和14 d,极端最高气温达到41.8 $^{\circ}\text{C}$ 。还有2007年6月27日至8月3日

出现连续38 d的高温天气,且7月28日至8月3日极端最高气温都 $>40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

高温日平均最高气温和年极端最高气温变化趋势较为相似,且数值低于极端最高气温,同时与高温日数变化大体相同,只是变化幅度、频率等有所差异。1953~2013年间,丽水高温日平均最高气温为36.8 $^{\circ}\text{C}$,以2003年最高(38.4 $^{\circ}\text{C}$),1999年最低(35.6 $^{\circ}\text{C}$);有3 a高温日平均最高气温低于36.0 $^{\circ}\text{C}$ (1975、1997和1999年),1967、2003和2013年高于38.0 $^{\circ}\text{C}$ 。

61 a间,极端最高气温高于41.0 $^{\circ}\text{C}$ 的达到11 a,高于40.0 $^{\circ}\text{C}$ 的有23 a,占年数的37.7%,主要集中在1950年代中期至1960年代中期和21世纪初。与此同时,极端气温高的时段,高温日数也对应偏多,尤其在2003~2013年间对应最为明显。同时,61 a间 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温日数与极端最高气温、高温日平均最高气温的相关系数分别达到0.697和0.671,且都通过0.01显著性水平,其次极端最高气温和高温日平均最高气温的相关系数甚至达到0.921(通过0.01显著性水平),呈极显著正相关关系,再次证明了高温日数和高温强度成正比关系,即高温持续时间越长,最高气温也会相应升高。

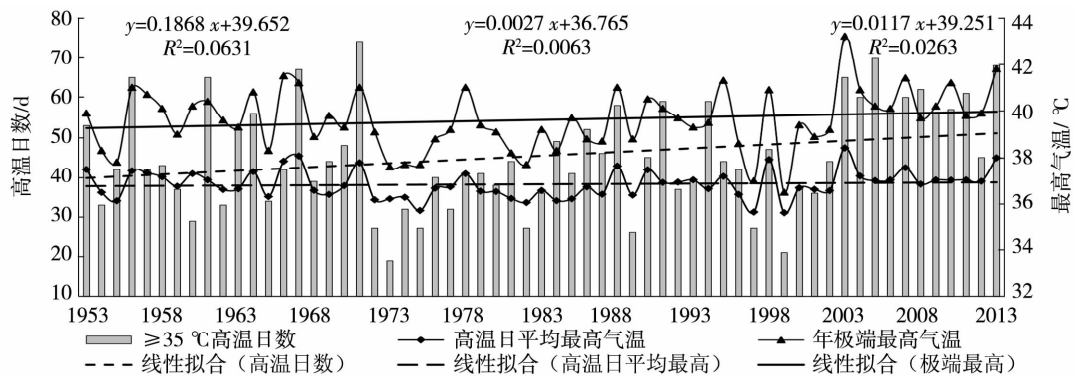


图2 丽水高温的年变化特征

Fig. 2 The annual variation of high temperature from 1953 to 2013 in Lishui

2.3 高温月变化特征

丽水各月高温的分布情况,如图3所示。61 a间,高温主要分布在3~10月,集中于6~9月,其中 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的月平均高温日数、极端最高气温和高温日平均最高气温变化曲线都呈“单峰型”走势,且都是7月最高(分别达到19.9 d、6.3 d、1.1 d,43.2 $^{\circ}\text{C}$ 和37.3 $^{\circ}\text{C}$),8月次之(分别为15.4 d、3.7 d、0.7 d,42.3 $^{\circ}\text{C}$ 和37.0 $^{\circ}\text{C}$)。其他月份高温日数明显减少,都少于5 d,其中6月(4.9 d)和9月(3.8 d)高温日数

相差不大,6月略多,且仍有 $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温出现,年均日数都为0.4 d,但是已经没有40 $^{\circ}\text{C}$ 以上的高温;但极端最高气温是9月(41.3 $^{\circ}\text{C}$)大于6月(39.6 $^{\circ}\text{C}$),高温日平均最高气温6月与9月都是36.4 $^{\circ}\text{C}$ 。春季(3、4、5月)和10月都没有 $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温日,除了5月年均高温日数还有1.1 d外,其他3、4和10月份高温日数都低于0.2 d,且高温日极端最高气温都低于36 $^{\circ}\text{C}$,甚至在3月份,近61 a来就出现了一次 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温日(2007年3月30日)。

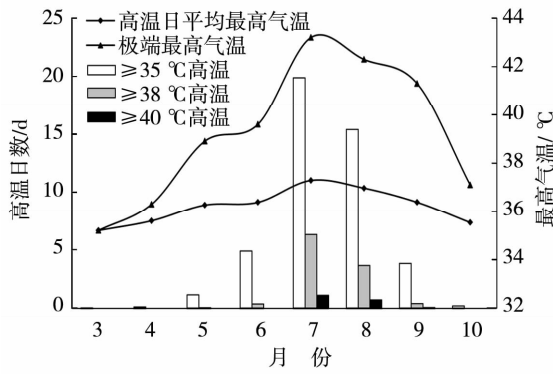


图3 丽水高温的月变化特征
Fig. 3 The monthly variation of high temperature from 1953 to 2013 in Lishui

3 丽水高温的周期演变趋势

3.1 高温周期变化特征的小波分析

Morlet 小波系数可以较好地反映系统在该时间尺度(周期)下的变化特征。图 4 给出了丽水市 1953~2013 年高温日数(图 4a)和极端最高气温(图 4b)距平序列的 Morlet 小波变换系数。

从高温日数(图 4a)的际年周期变化来看,2~4 a 时间尺度上,周期信号较强地体现在 1960 年代和 1990 年代;在 4~8 a 时间尺度上的周期振荡在 1980

年代之前较为清晰,1980 年代之后振荡强度较弱,等值线稀疏;在年代际尺度上,10~16 a 周期尺度振荡相对明显,多高温日数和少高温日数交替出现 10 次,转折点分别出现在 1958、1966、1973、1978、1983、1991、1997、2002 和 2008 年,共 5 个周期,平均每个周期约 12.2 a;对于 16~32 a 的周期尺度来说,仅可分为 1953~1964 年、1973~1982 年和 1994~2005 年的少高温时期,和 1965~1972 年、1983~1993 年和 2006~2013 年的多高温时期,闭合中心绝对值达到 0.8,近 61 a 共经历了 3 个周期转换,一个周期的长度约为 20.3 a。

从高温强度(图 4b)的周期变化来看,2~4 a 尺度上,周期信号较强,主要体现在 1960 年代、1980 年代,以及 21 世纪初,这与图 1 和图 2 分析结论一致;在 4~8 a 时间尺度上,1950 年代周期振荡稍弱,1960~1970 年代逐渐加强,而从 1980 年代之后振荡较强,等值线密集;10~16 a 的年代际尺度上,周期振荡较为清晰,主要表现为 1953~1959、1966~1970、1976~1981、1989~1996 和 2003~2007 年高温强度强,而 1960~1965、1971~1975、1982~1988、1997~2002 和 2008~2013 年高温强度弱,近 61 a 共出现 5 个周期更替,一个周期的时间长度大约为 12.2 a;对于 16~32 a 周期尺度来说,高温强度出现

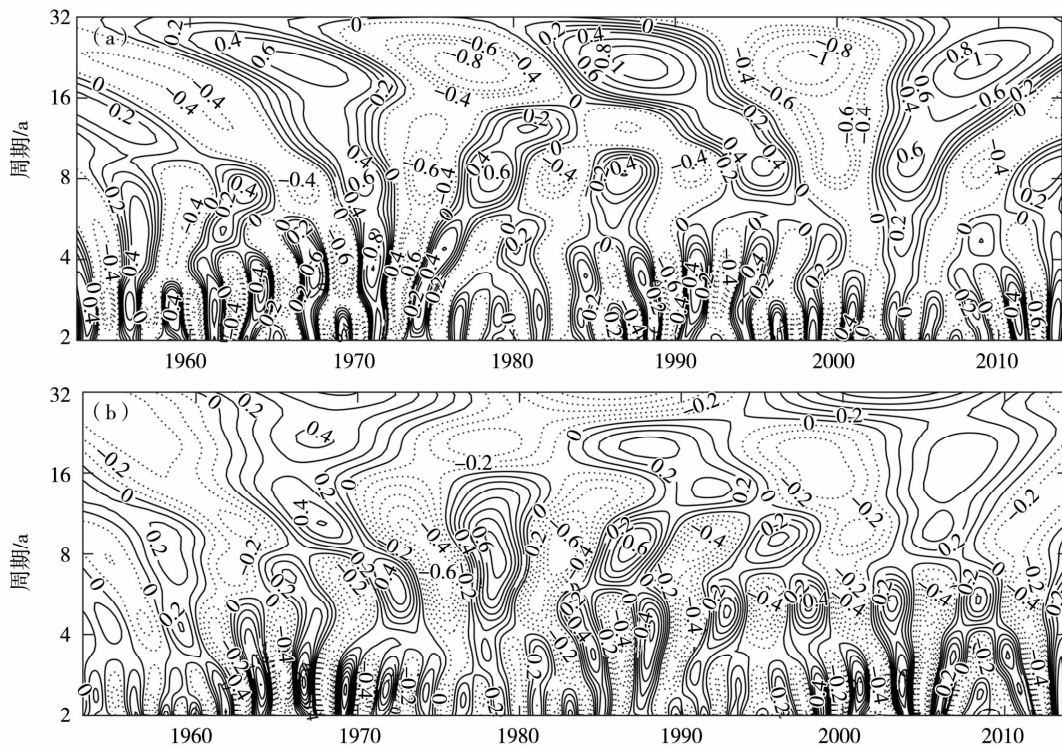


图4 丽水市 1953~2013 年高温日数(a)和极端最高气温(b)的 Morlet 小波变换系数
Fig. 4 The Morlet wavelet transform coefficient of high temperature days (a) and extreme maximum temperature (b) from 1953 to 2013 in Lishui

3个强弱周期的交替,突变点分别出现在1961、1972、1982、1993和2005年。

根据图4 Morlet小波变换的等值线预测未来高温趋势,2013年处于高温减弱的尾声,随后高温将以增强为主,因为年代际尺度上强12a周期显示,高温负值区域开始于2008年,截止到2013年负值区域已发展了5a,处于负值区域的尾部,表明高温即将结束偏低走势,未来几年将向偏高方向发展。

3.2 高温周期变化特征的小波方差检验

图5是丽水市1953~2013年高温日数(图5a)和极端最高气温(图5b)的小波方差图,横坐标是相关的周期尺度,纵坐标是小波方差。利用小波方差可以定量分析高温频次是高温强度在时间序列中的主要周期。图5a显示,在3~4a、12a、24a以及42a出现峰值,其中周期为12a时间尺度对应的小波方差最大,说明高温日数在年代际尺度上12a左右的周期振荡最强烈,同时在年际时间尺度上3~4a周期最明显。由图5b可见,极端最高气温存在3a、12a和24a的主振荡周期,另外6a、18a的振荡周期也隐约可见,由峰值的高低可以判断高温强度的主周期是

12a,次周期是3a和24a。综合来看,高温序列在整个时间域内存在明显的以3~6a为主的短周期和以12a为主的长周期,且以12a周期最为明显。

3.3 高温周期变化特征的多窗口谱分析

对丽水市1953~2013年高温频数(高温日数)和高温强度(极端最高气温)进行多窗口谱(MTM)分析,如图6所示。近61a来高温序列的MTM谱估计,在置信度水平99%的强红噪声临界谱上,丽水市高温日数和极端最高气温序列的年振荡频率在 $f < 0.03$ (即周期 > 33 a)的低频振荡并不明显。在 $f > 0.03$ 的高频谱段上,高温频数和高温强度都出现很明显的峰值。其中高温日数按照谱密度从大到小排列,分别为:振荡频率 f 在0.08~0.09之间、0.16~0.17之间、 $f = 0.25$ 和 $f = 0.33$,分别对应的周期为11.5~12.8a、6.0~6.3a、4.0a和3.0a。极端最高气温在99%的置信度水平上,振荡频率 f 在0.08~0.09,即周期 $T = 12$ a的谱密度最强,达到69743.2,同时通过验证的振荡频率还有 $f = 0.16$ 、0.25、0.40和0.43,对应周期 T 分别为6.1a、4.0a、2.5a和2.3a。

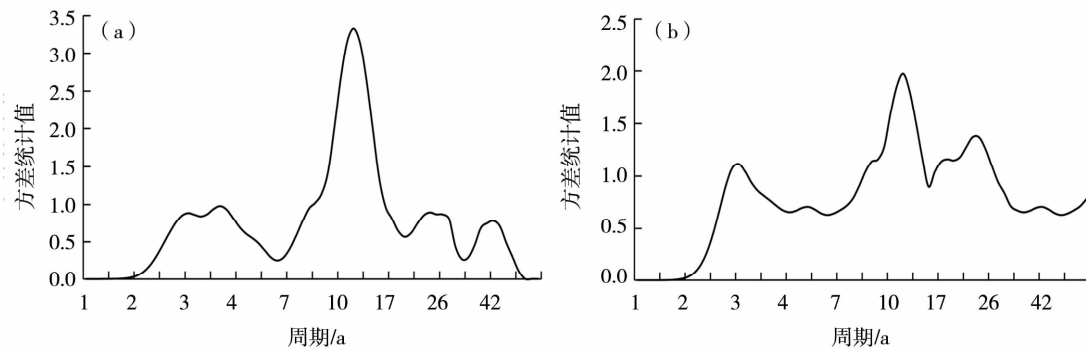


图5 丽水市1953~2013年高温日数(a)和极端最高气温(b)的小波方差检验

Fig.5 Wavelet variance test of high temperature days (a) and extreme maximum temperature (b) from 1953 to 2013 in Lishui

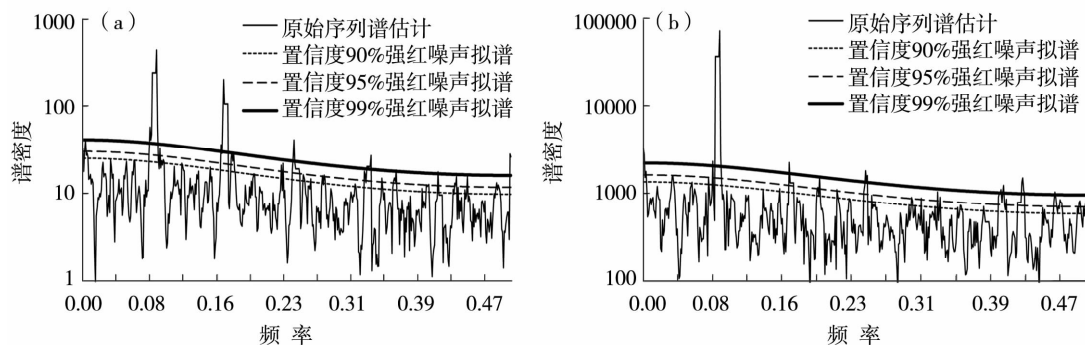


图6 丽水市1953~2013年高温日数(a)和极端最高气温(b)周期特征的多窗口谱检验

Fig.6 The analysis of high temperature days (a) and extreme maximum temperature (b) from 1953 to 2013 based on multi-taper spectral method in Lishui

可以看出,高温频数和高温强度都在振荡频率 f 在0.08~0.09之间,即周期在12 a左右的年代际尺度上的周期振荡最为显著,均超过0.01的显著性水平;其次高温日数还在 $f=0.16$ 左右也较为强烈,谱密度达到175.6,即高温日数在年代际尺度上6 a周期振荡最为明显;除此以外,两者在2 a和4 a的周期上都有小幅振荡,即高温频数和高温强度在年代际尺度上2~6 a周期常有振荡。

4 结 论

(1)丽水市高温初日提前,终日延后,两者之间的间隔日数进一步拉长,约每10 a延长4.7 d,通过0.05的显著性水平。高温日数和极端最高气温相互促进,呈显著正相关,均表现为上升趋势,并在21世纪初最为明显。

(2)丽水高温的月变化主要呈“单峰型”变化,分布在3~10月,集中于6~9月,并在7月高温日数和强度都达到顶峰。丽水高温分布时段与浙江省^[24](6~9月)和华东地区^[15](5~9月)总体分布相类似。

(3)丽水高温频数和高温强度在年代际尺度上12 a周期振荡最显著,年际尺度上2~6 a周期相对明显。强12 a周期振荡预测丽水高温即将结束偏低走势,转为偏高方向发展。这与浙江酷热高温天气周期特征^[14](16 a左右),以及华东地区夏季高温期气候规律^[15](12~15 a)相似。

参考文献:

- [1] IPCC. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: The Physical Science Basis[M]. 2007.
- [2] Karl T R, Knight R W, Plummer N. Indices of climate change for the United States[J]. Bull Am Met Soc, 1995, 77: 279-292.
- [3] Colombo F Andrew, David Etkin, Bryan W Karney. Climate variability and the frequency of extreme temperature events for nine sites across Canada: Implications for power usage[J]. Journal of Climate, 1999, 12(8): 2490-2502.
- [4] 邓自旺,丁裕国,陈业国. 全球气候变暖对长江三角洲极端高温事件概率的影响[J]. 南京气象学院学报, 2000, 23(1): 42-47.
- [5] 程炳岩,丁裕国,何卷雄. 全球变暖对区域极端气温出现概率的影响[J]. 热带气象学报, 2003, 19(4): 429-435.
- [6] 张可慧. 全球气候变暖对京津冀地区极端天气气候事件的影响及防灾减灾对策[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(10): 122-125.
- [7] 翟盘茂,刘静. 气候变暖背景下的极端天气气候事件与防灾减灾[J]. 中国工程科学, 2012, 14(9): 55-63.
- [8] 徐金芳,邓振镛,陈敏. 中国高温热浪危害特征的研究综述[J]. 干旱气象, 2009, 27(2): 163-167.
- [9] 任广成,王冰. 南疆夏季异常高温的气候背景分析[J]. 干旱气象, 2007, 25(1): 25-31.
- [10] 周曾奎. 南京地区50年冬夏气温特征分析和演变趋势[J]. 气象科学, 2000, 20(3): 309-316.
- [11] 覃军,张当军,胡江林. 武汉近百年来气温变化的多时间尺度分析[J]. 气象科学, 2001, 21(2): 206-210.
- [12] 李永华,刘德,向波. 重庆市近50a来高温变化多时间尺度分析[J]. 气象科学, 2003, 23(3): 325-331.
- [13] 吴昊旻,陈惠芬,何凯玲. 丽水市1953-2010年气温变化对四季长度的影响[J]. 气象与环境科学, 2012, 35(3): 76-80.
- [14] 郭巧红,胡波. 浙江40℃以上酷热高温天气统计特征分析[J]. 浙江气象, 2009, 30(1): 7-9.
- [15] 史军,丁一汇,崔林丽. 华东地区夏季高温期的气候特征及其变化规律[J]. 地理学报, 2008, 63(3): 237-246.
- [16] 李庆祥,黄嘉佑. 对我国极端高温事件阈值的探讨[J]. 应用气象学报, 2011, 22(2): 138-144.
- [17] 王有恒,谭丹,赵红岩. 近50a来甘肃省极端高温事件变化特征[J]. 干旱气象, 2012, 30(3): 410-414.
- [18] 吴昊旻,杨羡敏,姜燕敏. 浙江省夏秋季降水量时空分布特征及趋势演变规律[J]. 中国农业气象, 2011, 32(3): 326-330.
- [19] 姜燕敏,吴昊旻,孙卫国,等. 我国华东地区气候变化与副高指数的小波分析[J]. 广东气象, 2008, 30(6): 17-19.
- [20] Thomson D J. Spectrum estimation and harmonic analysis[J]. Proc IEEE, 1982, 70(9): 1055-1096.
- [21] 吴昊旻,姜燕敏,强玉华. 浙江丽水市降水特征多时间尺度周期变化规律的探究[J]. 干旱气象, 2012, 30(1): 34-38.
- [22] 史军,崔林丽,周伟东. 华东高温期的大气环流特征分析[J]. 热带气象学报, 2009, 25(6): 753-759.
- [23] 周建平. 丽水2003年持续干旱成因分析[J]. 浙江气象, 2006, 27(3): 13-16.
- [24] 严溯娜,陈海燕. 浙江省高温精细化的评估方法[J]. 广东气象, 2012, 34(1): 19-23.

(下转至443页)