

文章编号:1673-8411 (2017) 01-0068-03

1954~2015 年昆明太华山站气候干湿变化分析

刘典何文

(云南师范大学附属中学, 昆明 650106)

摘要:为科学认识滇中地区气候干湿的时间变化趋势和特点,使用线性倾向率、多项式、相关分析和功率谱分析方法,探究资料连续性、代表性和准确性良好的昆明太华山气象站平均相对湿度的时间变化。结果表明,平均相对湿度可作为度量和指示较长时段(季节和年)气候干湿变化的重要指标;滇中地区气候干湿年际波动大,1954~2015 年太华山站历年气候湿润度未呈现显著的线性变化规律,不存在线性变湿或变干的倾向性,除冬季以外的各季节(含雨季和干季)和年的平均相对湿度,其 62 年的变化趋势都可用高阶次多项式曲线模拟,并呈现“干-湿-干-湿”的阶段性波动和周期性变化特征。

关键词:相对湿度;气候干湿变化;多项式曲线;功率谱;云南昆明

中图分类号:P468.0*23

文献标识码:A

The Dry and wet Climate Change of Taihuashan Weather Station in Kunming City

Liu Duan He Wen

(Affiliated High School of Yunnan Normal University, Kunming 650106)

Abstract: The temporal variation of relative air humidity at Taihuashan weather station is analyzed by using linear trend rate, polynomial curve, relative method and power spectrum analysis. The results showed that average relative humidity could be used as an important measurement to indicate dry and wet climate change for long time periods (like seasons or all the year round). The local average relative humidity fluctuated inter-annually. From 1954 to 2015, the wetness of the Taihuashan station did not show a significant linear change over the years. There was no linear tendency of turning into wetter or drier. Except for the winter, the seasonal (including rainy season and dry season) and the average relative humidity changing trend of 62 years can be simulated by high-order polynomial curve, and show "dry - wet - dry - wet" stage fluctuations and cyclical characteristics.

Key words: average relative air humidity; dry and wet climate change; polynomining curve; power spectrum analysis

1 引言

气候变化一直是国际国内社会各界关注的热点问题^[1-10]。气温变化和干湿旱涝变化是气候变化中的焦点^[2-6,10,11]。其中关于干湿旱涝变化,众多学者主要从气温、降水量、雨日数和极端降水事件等方面展开研究^[2,4-7,11-13],而很少有从空气相对湿度变化的角

度研究气候干湿变化的报道^[14]。空气相对湿度是空气中水汽压与同温同压条件下的饱和水汽压的百分比值,是表示空气中含水量相对值的常规气象要素,反映空气的湿润程度。事实上,空气相对湿度是影响自然水分平衡的重要因素^[15,16],甚至有学者认为它是自然条件下影响蒸发量的首要气象因子^[15],而蒸发量是自然水分平衡的最主要支出项^[15,16];同时,空

收稿日期:2016-08-16

作者简介:刘典何文(1999-),女,云南省禄劝县人,高三学生。E-mail: 1520229312@qq.com

气相对湿度受气温、水汽压、风速、太阳辐射和气压等多个气象要素的影响^[15,16],其中多数情况下受气温影响最大^[15,16],而水汽压是表示空气中含水量绝对值的气象要素,受到降水及其他水汽来源的影响。一般自然条件下,气温升高时,空气相对湿度变小;出现一定降水时,空气相对湿度增大。那么它是否能作为度量气候干湿变化的重要指标呢?

昆明太华山是滇池西岸边西山山脉的主要山峰,太华山气象站设立在太华山顶、位于昆明市主城区西南方向约 6km 处 (24°57'N,102°37'E),海拔 2358.3m;它是云南省大气探测环境保护最好,气象观测历史、资料序列最长,观测资料连续性、代表性、比较性和准确性优良,目前气象观测业务仍正常运行的国家基准气候站;是滇中地区海拔最高,70 多年来从未迁站,并且未受到城市化发展明显影响的站点,是分析研究滇中区域气候变化的最重要代表站^[17]。本文拟使用长序列样本资料,分析太华山气象站 62 年的相对湿度变化,为研判滇中地区气候干湿的时间变化特点和规律提供科学依据。

2 资料和方法

选用太华山站 1954~2015 年共 62 年的月、季和年的平均相对湿度资料,利用线性倾向率、5 年滑动平均、相关分析、多项式曲线拟合和功率谱分析方法展开研究。考虑到滇池流域属于典型的季风气候,干湿季节分明,不仅分析春季 (3~5 月)、夏季 (6~8 月)、秋季 (9~11 月)、冬季 (12~2 月) 和年的平均相对湿度变化,而且分析雨季 (5~10 月) 和干季 (11~4 月) 的相对湿度变化特点。

线性倾向率是分析气候变化的常规指标方法,它用线性回归方程: $y(x) = a + bx$ 来拟合相应变量的时间序列 (其中 $x=1, 2, 3 \cdots, n$, 这里代表年序), 得到的系数 b 即为 (相对湿度) 时间序列的线性倾向率, 可定性反映该时间序列随年序增大 (b 为正值) 或减小 (b 为负) 的线性变化趋势, 其数值大小定量反映变量 (相对湿度) 随时间的变化程度。5 年滑动平均主要针对相对湿度年际波动幅度较大的特点, 用以滤波达到更直观判断各时期相对湿度变化趋势走向的目的。多项式曲线拟合是经典的时间序列分析方法^[18], 本文对指定季节和年的相对湿度值序列都使用 6 次或更高阶次多项式曲线, 拟合其历年相对湿度的时间变化, 根据相关拟合曲线方程的 R^2 值及其显著性水平, 可判断相对湿度的历年趋势变化是

否遵循某一曲线变化规律。

功率谱估计是数字信号处理的主要方法之一, 主要研究信号在频域中的各种特征, 目的是根据有限数据的时间序列在频域内提取被淹没在噪声中的有用信号^[20]。在本文中, 功率谱分析是用三角函数拟合相对湿度的时间序列, 将时间序列分解为多个频率为基本频率整数倍的谐振动之和, 以确定相对湿度时间序列是否有周期性变化特点及其主要周期^[20]。

3 结果和初步分析

3.1 相对湿度的月季分布

根据历年月平均值数据的分析, 太华山站平均相对湿度的逐月变化, 与降水量的变化有明显的不同 (见图 1)。一年中, 4~7 月为平均相对湿度快速升高期, 8~10 月为缓慢减小期, 11~12 月为快速减小期, 次年 1~3 月为剧减期。7~10 月平均相对湿度最大, 各月都 $\geq 87\%$; 6 月和 11 月为次大时段, 分别为 86% 和 82%; 12 月和 5 月为一年中平均相对湿度的中值期, 分别为 76% 和 72%; 1~4 月为最小期, 各月都小于 69%; 平均相对湿度最小月为 3 月, 次小为 4 月, 最大月为 7 月, 次大月为 8 月。

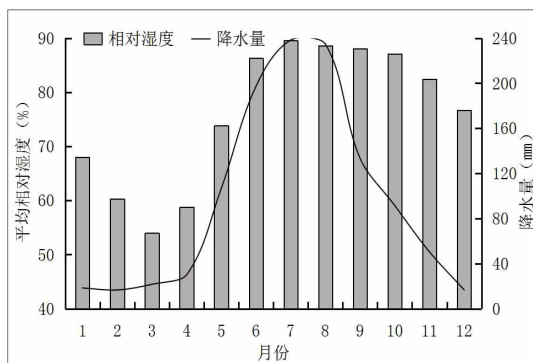


图 1 太华山站平均相对湿度和降水量的逐月变化 (1970~2009 年平均)

平均相对湿度的季节性分布特点与降水量的情况基本相同。各季节中春季平均相对湿度最小, 为 61.1%; 其次是冬季, 平均相对湿度为 68.1%, 夏季和秋季平均相对湿度明显高于春季和冬季, 分别为 88.0% 和 85.6%; 雨季历年平均相对湿度为 85.2%, 较干季的 66.1% 偏高 19.1%。

但图 1 显示, 随着时间延后, 春季和春夏之交, 月平均相对湿度增大的速度与降水增加基本同步; 但秋冬季节相对湿度减小的速率远小于降水剧减的

速度。从季节变化讲,降水量是夏季最大、秋季次大、春季第三、冬季最小;平均相对湿度是夏季最大、秋季次大,冬季第三、春季最小,昆明市所有气象站点的降水量和平均相对湿度的季节性差异性也是如此[20]。事实上,滇中地区夏季洪涝灾害最重,秋季为洪涝频次明显多于干旱,冬季干旱频率较大,春季干旱频次最多、旱情最重^[21]。显然,平均相对湿度更能准确表达气候干湿的时间变化。

3.2 季节和年相对湿度的年际波动

标准差是度量变量波动变化程度大小的基本统计指标。根据表 1 的统计结果,太华山站历年平均的年平均相对湿度为 75.7%,其标准差为 1.9%,最大值出现在 2000 年为 79.3%,最小值出现在 1969 年为 70.6%。各季节平均相对湿度的标准差,春季最大,为 4.7%;冬季次大,为 4.4%;秋季 2.5%;夏季最小,为 1.9%;这表明大气中水汽含量较少的春季和冬季,不同年份间相对湿度的差别较大,这两季节最大年与最小年之差值均超过 20.0%;而在降水最多、水汽含量最丰沛的夏季,相对湿度的变化幅度最小,其最大年与最小年之差值约为 10.0%左右。太华山

站雨季平均相对湿度的标准差为 2.0%,也明显小于干季的标准差 3.5%。

3.3 相对湿度的历年变化趋势和拟合

3.3.1 年平均相对湿度变化

由图 2 可见,1954–2015 年太华山站年平均相对湿度呈现出线性增加变化趋势,线性倾向率为 0.23%/10a,但其显著性水平 $P=0.10$,可信度不高。从其 5 年滑动平均值变化分析,年均相对湿度存在较明显的年代际波动,在时间变化上呈现出“干–湿–干–湿–干”的变化特征;1960 年代至 1970 年代前期年均相对湿度为相对较干时期,1970 年代中后期转为相对较湿时期,1980 年代处于相对较干时期,1990 年代初至 2010 年处于相对较湿时期,2012 年以后相对湿度又转入相对干燥的阶段。

年平均相对湿度的 6 阶次多项式拟合曲线,其方程的显著性水平 $P=0.01$,可信度高。它也呈现出典型的“干–湿–干–湿–干”的变化特征,并且比 5 次滑动平均线描述更准确,比如,是 1990 年代后期至 2008 年处于相对较湿时期,2009 年以后相对湿度又转入相对干燥的阶段,2015 年从低谷转为回升。这

表 1 1954~2015 年太华山站各季节和年平均相对湿度的基本统计特征值

	春季	夏季	秋季	冬季	雨季	旱季	年
平均值	61.1	88.0	85.6	68.1	85.2	66.1	75.7
标准差	4.7	1.9	2.5	4.4	2.0	3.5	1.9
最小值	49.0	83.0	79.0	53.3	81.0	55.3	70.6
最小值出现年	1969	1967	2009	1978	1969	1979	1969
最大值	70.7	92.7	91.7	77.7	89.3	72.7	79.3
最大值出现年	2000	1998	1991	1991	1954	1977	2000

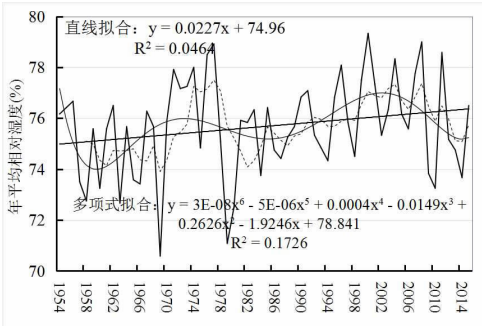


图 2 太华山站年平均相对湿度的历年变化和拟合
说明年平均相对湿度遵循曲线变化规律,其线性变化趋势可信度较低。

图 3 是太华山站 1954–2015 年雨季、干季平均相对湿度的逐年演变和拟合。直线拟合的倾向性表明,雨季、干季的平均相对湿度有线性增加的趋势,线性增加率分别为 0.10%/10a、0.31%/10a,但两者的线性趋势变化显著性水平未达到 $P=0.10$,可信度很低。在 5 年滑动平均值变化趋势上,太华山站雨季和干季相对湿度均呈现出“干–湿–干–湿–干”的波动变化特点。

多项式曲线拟合的情况。6 次多项式曲线拟合干季相对湿度的方程,其 R^2 为 0.067,显著性水平 $P=0.10$,可信度偏低;雨季的拟合效果很好,其 $R^2=0.2465$,显著性水平为 0.001,可信度很高。两季节的

3.3.2 干、雨季平均相对湿度变化

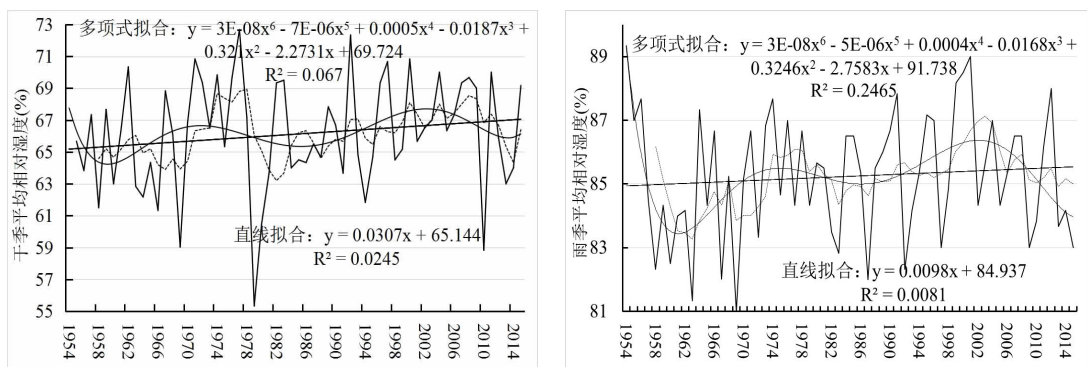


图3 太华山站干、雨季平均相对湿度的历年变化和拟合

多项式曲线都呈现“干-湿-干-湿-干”的波动变化特点,与年平均相对湿度的多项式曲线的变化趋势有一致性。

3.3.3 春夏秋冬季节的平均相对湿度变化

图4是太华山站1954~2015年春、夏、秋、冬季平均相对湿度的变化和模拟。由图可见,62年来太华山站春季平均相对湿度呈现线性增加的变化趋势,线性倾向率为0.60%/10a,但其显著性水平仅为 $P=0.10$;春季相对湿度的5年滑动平均值变化趋势呈现出“干-湿-干-湿-干”的特征,其6次高阶多项式曲线拟合的显著性水平高($P=0.01$),也反映出相对湿度“干-湿-干-湿-干”的波动变化特征。这表明春季相对湿度的历年变化更符合曲线变化规律。

夏、秋、冬三季各季节平均相对湿度的线性变化

趋势均未通过显著性水平 $P=0.10$ 的统计检验,即无线性趋势变化倾向。三个季节相对湿度的5年滑动平均值的变化趋势进一步表明其变化趋势不宜使用直线来模拟。6次多项式曲线拟合夏季平均相对湿度变化的方程的 R^2 为0.2297,显著性水平 $P=0.001$;拟合秋季平均相对湿度变化的方程的 R^2 为0.1548,显著性水平 $P=0.01$;拟合冬季平均相对湿度变化的方程的 R^2 为0.0508,显著性水平 $P=0.10$ 。进一步使用7次多项式曲线拟合冬季平均相对湿度的变化(图略),其曲线方程的显著性水平为 $P=0.05$ 。可见,夏、秋、冬三个季节平均相对湿度的历年变化使用直线拟合都是不可信的,但都适合使用6次或7次高阶多项式曲线来模拟。

分析太华山站平均相对湿度春、夏、秋、冬各季

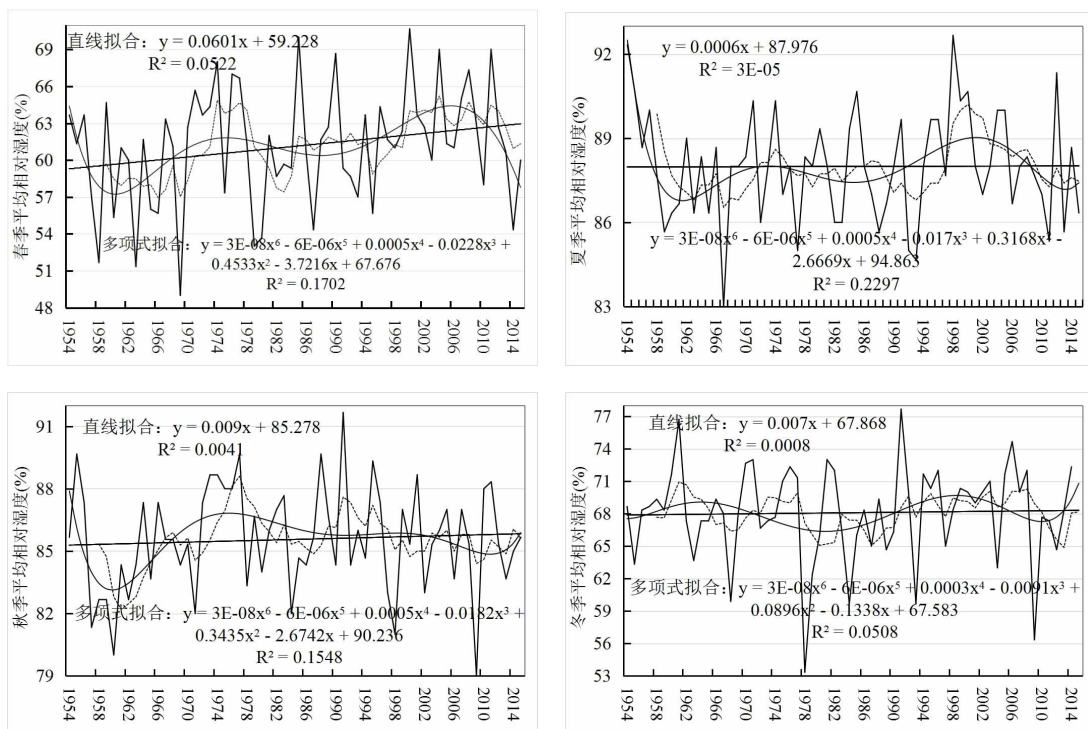
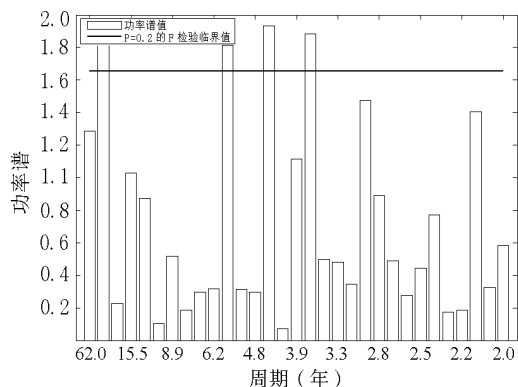
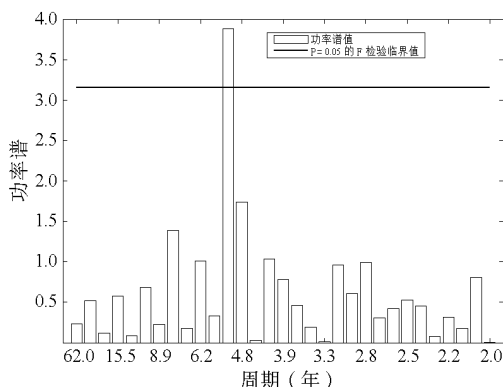


图4 太华山站春、夏、秋、冬季平均相对湿度的历年变化和拟合

节值与年值的相关性,其相关系数分别为 0.83、0.12、0.44 和 0.27,春、秋季值与年值的相关均通过显著性检验($P=0.001$),冬季值与年值的相关显著性水平 $P=0.05$,仅夏季值与年值的相关不显著。可见,一年中有 3/4 的季节时段其平均相对湿度与年平均相对湿度的历年时间序列变化都有一定的相似性。



a. 春季



b. 冬季

图5 太华山站 1954–2015 年春季、冬季平均相对湿度变化的功率谱分析结果

功率谱分析显示,太华山站夏、秋季和干、雨季各季节平均相对湿度的历年时间序列,都没有达到显著性水平 $P=0.2$ 的变化周期存在。

4 讨论

(1) 太华山站历年相对湿度不遵循线性变化规律,其历年变化趋势适合使用曲线拟合。该站相对湿度的 62 年序列资料,春季和年的平均相对湿度的线性趋势变化,显著性水平较低($P=0.1$),这与南极长城站相对湿度的线性变化不显著相一致^[20];但年平均相对湿度和 6 个季节中的 5 个(包括干季和雨季)平均相对湿度的历年变化,都可用高阶次为 6–7 的多项式曲线来拟合,其显著性水平 $P=0.01$ (或 0.001 或 0.05),可信度高。

(2) 湿润度较大季节的相对湿度历年变化,比湿润度较小季节更适合使用曲线来拟合。太华山站湿润的夏季、秋季和雨季,其平均相对湿度历年序列的标准差较小,阶次为 6 的多项式曲线都能模拟其变化趋势;而较为干燥的冬季、干季的平均相对湿度年际波动大(标准差值大),阶次为 6 的多项式曲线都难以拟合其变化趋势。

(3) 冬季、干季平均相对湿度的历年变化难以模拟的原因。滇中地区干、雨季节分明,雨季主要包括

3.4 功率谱分析结果

功率谱分析表明,太华山站冬季平均相对湿度有 5.2 年的显著性变化周期,其显著性水平 $P=0.05$ (图 5b);该站春季平均相对湿度有 31.0 年、5.6 年、4.4 年和 3.7 年共计 4 个变化周期,但其显著性水平都仅为 $P=0.2$ (图 5a)。

夏季和秋季头两个月,期间降水是常态事件、气温的月际变化平缓^[21,22],因此其平均相对湿度年际波动幅度小,易于用曲线拟合。而干季主要包括冬季和春季头两月,其中冬季有效降水日数最少(太华山站历年平均冬季日降水量 $\geq 5\text{mm}$ 的天数为 2.0 天,出现频率为 2.2%)^[21,22];春季的 3–4 月有效降水日数仅略多于冬季(太华山站历年平均日降水量 $\geq 5\text{mm}$ 的天数为 2.2 天,出现频率为 3.6%)^[21,22]。显然,冬季、干季降水引发相对湿度增幅较大是明显的小概率事件,其规律性很差。同时,由于滇中受北方冷空气侵扰程度和冷空气强度的年际差异大,干季期间影响平均相对湿度的另一个重要因素—气温的波动变化也大。因此,干季期(含冬季)平均相对湿度的历年波动变化比较复杂。但是,功率谱分析出冬季平均相对湿度的历年变化具有周期性特点,干季的平均相对湿度变化可用阶次为 7 的多项式曲线来模拟(显著性水平 $P=0.05$)。这进一步说明平均相对湿度可以客观表达和指示任何季节时段长度的气候干湿变化。

(5) 平均相对湿度为什么能客观指示季节和年时段气候干湿的时间变化呢? 进一步的分析表明,虽然空气相对湿度受气温、降水、太阳辐射、风速等多个因素影响,在短时间(如 1 天或几天)内波动变

化幅度大;但由于这些影响因素中的绝大多数也是影响自然水分蒸发的重要因素,季节或更长时段的平均相对湿度值,相当程度上取决于自然水分平衡的主要收入(降水)和主要支出(蒸发)的相对平衡状态。

5 结论

(1) 平均相对湿度能客观反映太华山站气候干湿状况的逐月变化和季节性差别,并能指示出各季节和年气候干湿的历年变化趋势和特点,可作为度量和指示季节和年较长时段气候干湿变化的重要指标。

(2) 太华山站历年气候干湿变化不是简单的线性变化,1954~2015 年各季节和年的平均相对湿度没有表现出显著的气候变干或变湿的变化倾向。该站点绝大多数季节(含干季、雨季)和年的平均相对湿度变化趋势,都可用高阶次多项式来描述和模拟预测。

(3) 太华山站气候干湿的时间变化特点。从 3 月至 6 月平均相对湿度增大的速度与降水增加基本同步,自 9 月至 12 月平均相对湿度减小的速率远小于降水剧减的速度。平均相对湿度年际波动大,冬季和春季相对湿度年际波动变化幅度大于夏季和秋季,雨季相对湿度年际波动小于干季。1954~2015 年该站各季节和年的平均相对湿度都呈现“干-湿-干-湿”的阶段性波动和周期性变化特征。

致谢:本文得到云南省气象学会黄中艳老师的指导和帮助。

参考文献:

[1] 丁一汇,任国玉,石广玉.气候变化国家评估报告 I:中国气候变化的历史和未来趋势[J].气候变化研究进展,2006,2(1):3-8.

[2] 王绍武,蔡静宁,慕巧珍等.中国西部年降水量的气候变化[J].自然资源学报,2002,17(4):415-422.

[3] 赵宗慈,王绍武,罗勇.IPCC 成立以来对温度升高的评估与预估[J].气候变化研究进展,2007,3(3):183-184.

[4] 王颖,施能,顾骏强等.中国雨日的气候变化[J].大气科学,2006,30(1):162-170.

[5] 王大钧,陈列,丁裕国.近 40 年来中国降水量、雨日变化趋势及与全球温度变化的关系[J].热带气象学报,2006,22(3):283-289.

[6] 王英,曹明奎,陶波,等.全球变化背景下中国降水量空间格局的变化特征[J].地理研究,2006,25(6):1031-1040.

[7] 何洁琳,谢敏,黄卓,等.广西气候变化事实[J].气象研究与应用,2016,37(3):11-15.

[8] 吴剑芳,黄永东.博白县近 30 年气候变化特征分析[J].气象研究与应用,2015,36(1):57-62.

[9] 孙瑞,吴志祥,陈帮乾,等.近 55 年海南岛气候要素时空分布与变化趋势[J].气象研究与应用,2016,37(2):1-7+122.

[10] 张凌云,李宜爽,袁马强,等.近 54 年柳州干旱的时空特征分析[J].气象研究与应用,2015,36(3):26-29+33.

[11] 吴文娟,王刚,黄丕新,等.近 50a 海口市降水量与蒸发量变化[J].气象研究与应用,2009,30(1):19-22.

[12] 张万诚,郑建萌,任菊章.云南极端气候干旱的特征分析[J].灾害学,2013,28(1):59-64.

[13] 潘娜,肖国杰,邬亮,等.丽江近 62a 气温变化特征分析[J].气象研究与应用,2016,37(3):74-78.

[14] 王平,程清平,孔国陈,等.云南盘龙河流域 53 年来相对湿度变化特征分析与预测[J].气象研究与应用,2016,37(1):15-20.

[15] 黄中艳.云南干季月蒸发量与常规气象要素的关系[J].地理科学进展,2010,29(2):138-144.

[16] 张敏,宛公展.用不同气象要素估算蒸发力的模式研究[J].气象,1995,21(2):36-40.

[17] 王学峰,周德丽,杨鹏武.近 48 年来城市化对昆明地区气温的影响[J].地理科学进展,2010,29(2):145-150.

[18] 李鲲鹏,刘业新,李衍达.用小波变换和多项式拟合提高地震资料分辨率[J].清华大学学报(自然科学版),1997,36(3).

[19] 谢亮,张静红.沙尘暴期间的温度脉动特征分析[J].中国沙漠,2011,31(3).

[20] 李静锋,卞林根,丁卓铭,等.南极长城站气候特征及其趋势[J].气象研究与应用,2015,36(1):20-24.

[21] 云南省气象局.云南省农业气象资料集[M].昆明:云南人民出版社,1984:124,163.

[22] 秦剑,解明恩,刘瑜,等.云南气象灾害总论[M].北京:气象出版社,2000.