

Spatial-Temporal Characteristics of Average Air Temperature and Sunshine Duration in Guizhou Province, China

Zhuoya Jiang

School of Geographic Sciences, East China Normal University, Shanghai
Email: georgia1203@gmail.com

Received: Apr. 12th, 2017; accepted: Apr. 27th, 2017; published: Apr. 30th, 2017

Abstract

Based on the time series of daily average air temperature and sunshine duration of Guizhou Province from 1951 to 2010, the average air temperature and annual sunshine duration was calculated by using the methods of Mann-Kendall abrupt change test, wavelet analysis and moving average method to analyze the climatic trend rate and spatio-temporal characteristics of temperature and sunshine duration of Guizhou Province. The result showed that, the average air temperature of Guizhou has witnessed a continuing rise and the air temperature of the south-east part is higher than the north-west part. The sunshine duration of Guizhou climbed in the 1960s and started to decline since 1970s. However, the sunshine duration showed an increasing trend in the past 10 years. Different with the spatial distribution of air temperature, the sunshine duration of south-west area is more than the north-west area.

Keywords

Air Temperature, Sunshine Duration, Mann-Kendall Test, Wavelet Analysis

贵州省平均气温和光照时空变化特征分析

蒋卓亚

华东师范大学地理科学学院, 上海
Email: georgia1203@gmail.com

收稿日期: 2017年4月12日; 录用日期: 2017年4月27日; 发布日期: 2017年4月30日

摘要

采用1951年至2010年贵州省19个台站平均气温和日照时数逐日数据, 统计了其年平均值, 运用

Mann-Kendall突变检验法、小波分析法、滑动平均法和线性趋势比较法等,并统计其气候倾向率,来分析贵州省平均气温和日照时数随时间和空间的变化特征。结果表明:贵州省年平均气温呈上升趋势,气温的分布在全省呈东南向西北降温态势;全省的日照时数呈现先上升后持续减少,近10年来又回升的趋势,在全省的分布为自西南向东北减少的态势。

关键词

气温,日照时数, Mann-Kendall检验, 小波分析

Copyright © 2017 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

本贵州省位于中国西南地区,平均海拔在 1100 m 左右,主要地形有高原山地、丘陵和盆地等,总体地势西高东低,自中部向北、东、南三面倾斜,“八山一水一分田”就是民众对贵州省地形的很好总结,贵州省是全国唯一几乎没有平原的省份。气候变化内部和外部影响因子及其相互的反馈机制十分复杂,各地区的区域气候变化在周期、突变性等方面都有自己的变化规律,而且常常与全球变化并不同步,贵州省处于云贵高原,又西临青藏高原,同时还受到受东亚季风的影响,加之自身复杂的山地地形,研究贵州省及其周边区域的气候变化特征,能够更深层次了解我国西南地区乃至高原地区气候变率的情况。同时了解贵州省的气象要素的时空变化特征,比如气温和日照时数的分布和变化,也可以为当地环境生态、资源利用和农业生产等提供参考和决策依据。

IPCC 第五次报告[1]指出,过去的 130 年全球升温 0.85℃,其中近 30 年可能是“史上最热”(中等信度),整体气候系统的暖化毋庸置疑。全球海陆表面的平均温度在 1880 年到 2012 年期间呈线性上升,2003 年到 2012 年的海陆表面平均温度相比 1950 年到 1990 年的海陆表面平均温度升高了 0.78℃,而 1983 年到 2012 年这 30 年每十年的地表温度都比 1850 年以来任何时期要高,这表明了全球变暖在加速发展,可视为全球气候变化下温度变化趋势的大背景。

近年来有诸多关于西南高原山地地区气候变化的研究,其中对单站的几十年气温变化、日照变化的分析较多;另外也有研究整个西南包括云贵高原、四川盆地整体区域气候变化的。李占杰[2]等利用贵阳站 60 年逐月、年气温时间序列分析了贵阳市年、季气温变化,研究表明 1951 年以来,贵阳市平均气温呈微弱下降趋势;刘益兰[3]用小波分析法对贵阳市八十年来平均温度序列随时间做了分析,发现除春季外,另外三个季节和年均气温的变化都以大约 16 年的尺度做冷暖变换,呈现一定的多尺度周期变化特征。袁淑杰等[4]利用数字高程模型(DEM)对有高原起伏地形的贵州省日照时间的时空分布做了相关分析,结果表明影响日照时数的因子中,坡向、坡度地形遮蔽的影响十分重要,因而贵州省作为典型山地为主的省份,研究其日照分布有重要意义;郑小波等[5]对贵州 1961 年以来 45 年的日照时数做了 Mann-Kendall 突变检验,结果表明贵州全省的日照时数呈现整体性的减少,而云量的变化却与日照时数减少不同步说明云量的变化并不是日照时数减少的主要原因,日照减少的可能原因是气溶胶的变化和站点的周边环境的变化。杨小梅等[6]对西南地区日照时数变化的研究发现,四川盆地和贵州高原同是日照时数降低的地区,这与郑小波等人对贵州省日照时数变化的研究结果一致;马振锋[7]等人研究了整个西南地区的气温、降水、湿度,发现了西南地区气候变化与全球变暖的非同步性,对几种气候要素进行突变检验,发现其

中气温这一要素的变化是由青藏高原先开始突变接着是云贵高原，最后才是四川盆地和贵州东部丘陵，同时研究表明，西南地区总体的平均温度突变可能晚于全球温度突变。

本文对 1951 年至 2010 年贵州省 19 个台站的平均气温和日照时数在时间和空间上分布的特征做了分析研究，对各站的年平均气温和年日照时数，以及通过 19 个台站得到的贵州省全省年平均气温进行 Mann-Kendall 突变检验和小波分析，同时对年平均气温和日照时数做了线性变化趋势分析、滑动平均、气候倾向率比较以及距平分析。通过这些对数据的分析处理，得出贵州省过去 60 年气温和日照时数的分布情况、变化规律和变化趋势。在全球气候变化的大背景下，探讨引起日照时数变化及气温变化的可能原因。

2. 数据与方法

本文使用 1951 年至 2010 年贵州省 19 个台站的气候资料年值数据进行处理分析。台站的分布位置如下面的图 1 所示。由于各台站资料的起始时间不一致，在做全省多年分析和空间分布时，采用 1959 年以后的数据进行分析，个别台站个别日期的资料缺测，就采用前后日期的平均值进行插值处理。对各站的多年日照时数和平均气温分别进行了 Mann-Kendall 突变检验，检验其温度和日照时数的时间序列是否存在突变，同时进行小波分析，查看小波分析图上能否体现出变化周期。另外，进行全省年平均值的距平分析，并做出变化趋势的线性倾向估计，观察其中体现的变化趋势。

2.1. 小波分析

小波分析法(Wavelet Analysis)由 Morlet 在二十世纪八十年代首先提出，小波分析能够揭示出藏匿于时间序列中多尺度的周期变化，并且可以反映系统在不同时间尺度中的变化趋势，也可以对未来趋势的估计提供依据。

连续小波变换[8]为：

$$W_f(a,b) = |a|^{-1/2} \int_{\mathbb{R}} f(t) \bar{\psi}\left(\frac{t-b}{a}\right) dt$$

为小波变换系数； $f(t)$ 为一个信号的平方可积函数；伸缩尺度 a ；平移参数 b ；则 $\bar{\psi}\left(\frac{x-b}{a}\right)$ 是 $\psi\left(\frac{x-b}{a}\right)$ 的复共轭函数。由公式可知，通过增大或减小伸缩尺度 a 可以得到低频或者高频的信号，分析信号的大致轮廓或细节，从而实现对信号不同时空特征的分析[9]。本文采用 MATLAB 软件进行小波变换，得到小波系数，然后利用 SURFER11 软件画出小波系数实部的等值线图，从而分析温度或日照时数的不同时间尺度的周期变化和其在时间域中的分布。

2.2. Mann-Kendall 突变检验

Mann-Kendall 突变检验是一种非参数检验方法，所以也称为无分布检验，由 Mann 和 Kendall 首先提出原理并发展了这一方法，一开始仅用于检测序列的变化趋势，后来经过完善和改进成一种检验序列突变的方法。Mann-Kendall 突变检验方法的优势是样本无需遵从确定的分布，也不用受到个别异常值的干扰，详细的计算方法见魏凤英等[10]。

通过计算正、反向样本序列的统计量 U_f 和 U_b ，在给定的显著性水平下(本文给定显著性水平 $\alpha = 0.05$)，则临界值 $U_{0.05} = 1.96$ ，画出 U_f 和 U_b 曲线，然后利用两者变化分析样本的变化趋势。 $U_f > 0$ 则表明序列呈现上升趋势， $U_f < 0$ 则说明所检测序列呈现下降趋势，当 $U_f = 0$ 时则该序列变化持平，且当 U_f 值超过 1.96 临界线时，可以判断为该序列变化显著上升或者下降，如果 U_f 和 U_b 的交点出现在临界值之间，那么 U_f 与 U_b 交点所在的位置对应的时刻就是突变开始发生的时刻。

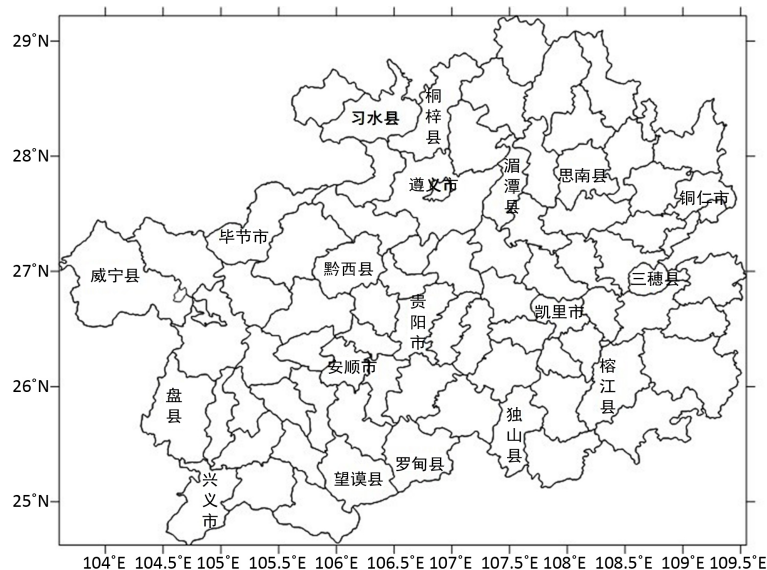


Figure 1. Distribution of stations
图 1. 本文所采用资料台站所在地区分布

2.3. 气候倾向率

本文采用一次直线方程来定量描述气候倾向率，即公式 $y_i = bt_i + a$ ，式中 b 为趋势变化率， $b = \frac{dy}{dt}$ ，文中采用 b 的 10 倍作为气候倾向率，单位为 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (气温) 或 $\text{h}/10\text{a}$ (日照时数)。正值为气候要素在该段时间内上升，负值为气候要素在该段时间内下降。

3. 结果与分析

3.1. 温度的时间变化

由于 1951~1958 年间，19 个台站中部分台站缺测现象严重，所以选取 1959 年至 2010 年各台站的年平均气温进行分析，图 2 和图 3 分别为由 19 个台站的资料所计算得出的贵州省年平均气温的距平和累计距平曲线。由图 3 可知，贵州省过去 1959 至 2010 年之间平均气温变化可以大致分为两个阶段，1959 年至 1997 年，气温负距平累计值不断增加，说明这段时间为偏冷阶段，特别是 1997 年累计负距平达到 -4.7°C ，达到 50 年来最低，这期间气温的平均值是 16.3°C ；1998 年至 2010 年气温累计负距平开始减少说明气温开始积累，可以判断为偏暖阶段，这段时间气温的平均值为 16.8°C 。

表 1 可以看出进入二十一世纪后温度转为正距平，这也说明二十世纪末二十一世纪初贵州省存在明显的增温，除上世纪 60 年代以外，气候倾向率均为正值，说明增温趋势明显。六十年代气温呈波动变化，到了七、八十年代气温则偏冷，九十年代前期偏冷后期偏暖。气温的突然转变从距平图上能看出是在 1998 年，正距平达到 0.8°C ，为 50 多年来最热年份，累积负距平由当年开始减少，1998 年全省年平均温度达到 17.2°C ，这与许多学者的研究结果一致[11][12]。图 2 的年平均气温距平图中也能发现，明显偏暖的年份集中在后半部分，尤其是 1998 年以后至今的年份。

由图 4 线性拟合趋势线以及五年的滑动平均曲线可以看出，50 年来贵州省气温总体出现了略微上升态势。由 Mann-Kendall 突变检验(图 5)可知，二十世纪九十年代中后期上升趋势显著(显著性水平 0.05)，并且突变发生在 1998 年，这与上述距平分析所得结果一致。在全国乃至全球来说，1998 年均是一个相对较热的年份，当年的冬季平均温度偏低而夏季平均温度偏高。由图 6 可以看出，贵州省气温存在 3 年

左右的周期，七十到九十年代存在 7 年左右的周期，同时 1972 年到 1994 年存在一个 32 年的偏冷周期。综合 Mann-Kendall 突变检验和小波周期分析，70 到 90 年代初气温偏低，是贵州省的偏冷时期，90 年代

Table 1. Decade departure and tendency rate of average temperature in Guizhou province

表 1. 贵州省年平均气温年代际距平和气候倾向斜率

年份	1960~1969	1970~1979	1980~1989	1990~1999	2000~1009
平均气温距平/°C	-0.1	-0.2	-0.1	0.1	0.3
气候倾向率°C/10a	-0.29	0.35	0.10	0.37	0.44
变化趋势	↓	↑	↑	↑	↑

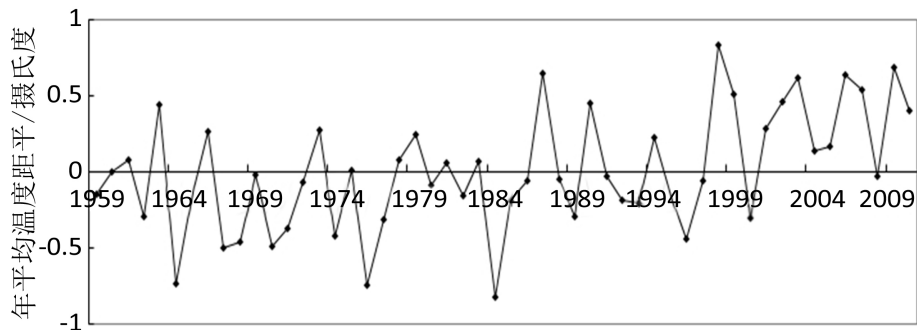


Figure 2. Departure curve of average temperature between 1959 and 2010 in Guizhou province

图 2. 贵州省 1959 年~2010 年年平均气温距平曲线

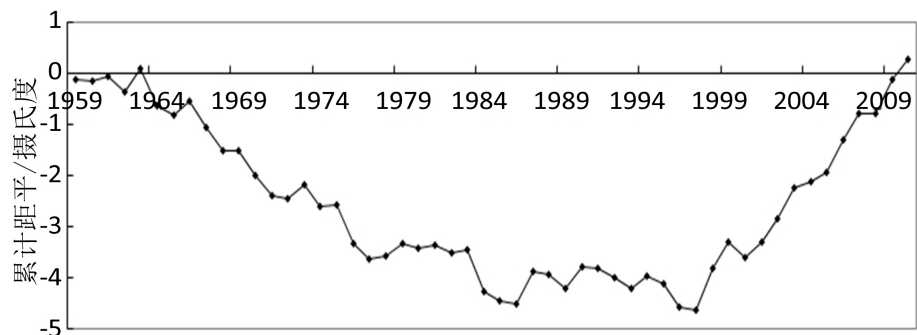


Figure 3. Cumulative departure curve of annual average temperature between 1959 and 2010 in Guizhou province

图 3. 贵州省 1959 年~2010 年年平均气温累计距平曲线

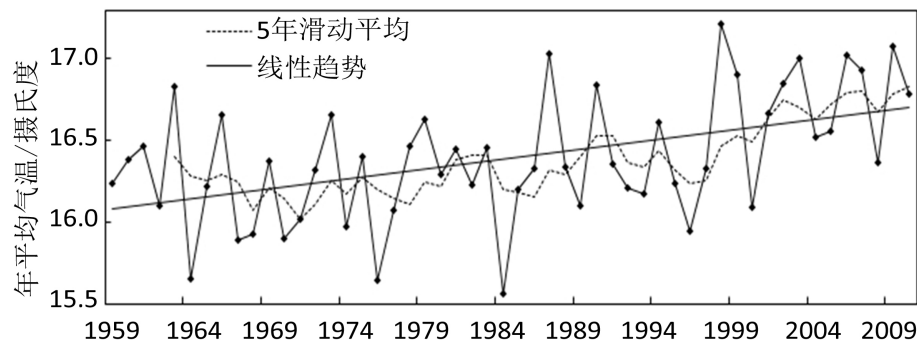


Figure 4. Trend of temperature change between 1959 and 2010 in Guizhou Province

图 4. 贵州省 1959~2010 年年平均气温变化趋势

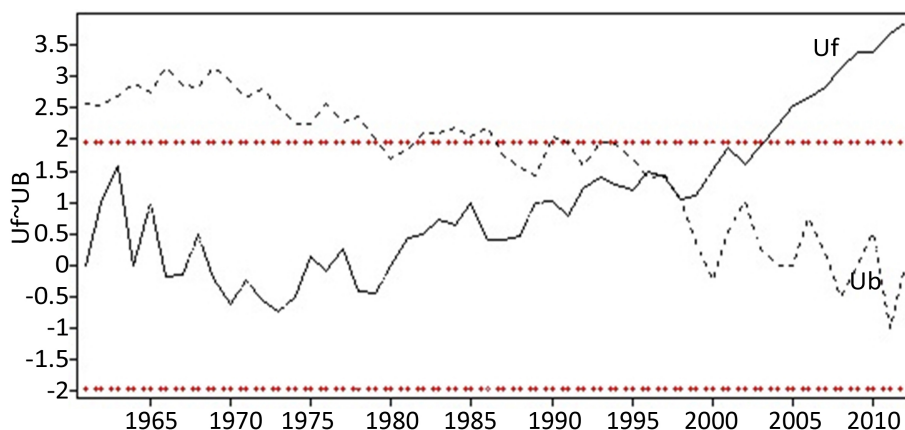


Figure 5. Man-Kendall test of average temperature between 1959 and 2010 in Guizhou

图 5. 贵州省 1959~2010 年平均气温 Mann-Kendall 突变检验图

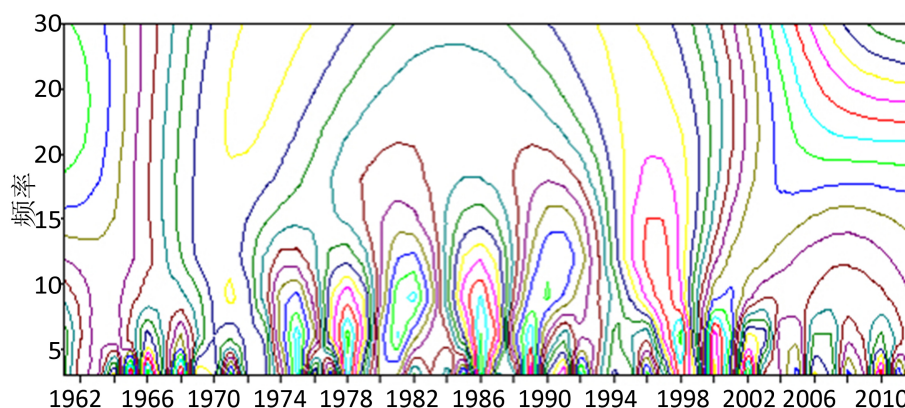


Figure 6. Wavelet analysis of average temperature between 1959 and 2010 in Guizhou Province

图 6. 贵州省 1959 年~2010 年平均气温小波分析图

中后期气温开始突变并且呈上升趋势。

在季节变化方面，选取 1 月代表冬季、4 月代表春季、7 月代表夏和 10 月代表秋季来进行全省气温分季节变化趋势的分析。如表 2，贵州冬季气温变化较为平缓，春秋两季气温呈现波动变化，冬季气温有降温趋势。但是最冷月的平均气温不低于 0°C ，最暖月的平均气温不高于 25°C ，贵州省气温温和，四季分明，为典型的亚热带季风气候型。

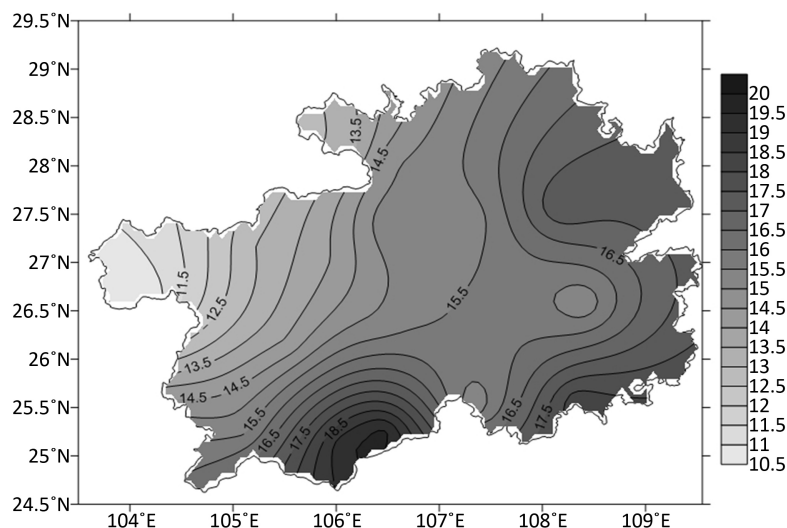
3.2. 温度的空间变化

结合 19 个台站的分布情况和各站分别计算得出的年平均气温，由图 7 贵州省年平均气温地域分布图可以看出，贵州省气温南部高于北部，东部高于西部，总体呈现东南 - 西北降低的形势。其中气温最高的地区为南部罗甸县台站所测得，多年平均气温达到 19.7°C ，最低出现在西部的威宁县台站，多年平均气温只有 10.6°C 。贵州省本身地势为西高东低，由中部向北部、东部和南部倾斜，地势越高气温越低，这与气温西低东高，中央及西部低于北、东、南的形势相符，说明多山地区的气温分布与其地势高低有关。

贵州省年平均气温存在这样明显的地区分布差异的原因，一部分是因为上述所说的地势因素，高海拔地区气温变率大、低海拔地区气温变率小；另一部分原因是因为贵州位于西北太平洋副热带高压与云贵静止锋、西南涡交互作用的边缘地带，受季风气候影响显著。夏季受西北太平洋副热带高压西进影响，容易形成晴朗高温天气，而其他季节受西南涡和北方冷空气的共同作用影响，加上本身的海拔高度，形

Table 2. Seasonal average temperature of decades in Guizhou province (°C)**表 2.** 贵州气温年代际季节平均(单位: °C)

月份	1960~1969	1970~1979	1980~1989	1990~1999	2000~2009
1月(冬)	5.1	5.0	5.0	5.0	4.9
4月(春)	16.4	15.3	15.6	14.8	15.1
7月(夏)	24.4	22.8	23.1	22.9	22.4
10月(秋)	15.9	15.3	15.6	15.2	15.1

**Figure 7.** Annual average temperature distribution in Guizhou province**图 7.** 贵州省年平均气温分布

成了贵州各地多样的气温形态。

选取贵州省东南西北及中部各一台站(铜仁、罗甸、威宁、桐梓和贵阳)的年平均气温和极端最高、最低气温进行比较。如表 3 所示,年平均气温最高的地区是位于南部的罗甸县,比全省平均气温高了 3.3°C 达到 19.7°C;年平均气温最低的则是位于西部的威宁县,只有 10.6°C,比全省年平均气温低了 5.8°C;不同地区的气温由高到低依次是南部 > 东部 > 中部 > 北部 > 西部,符合全省的地势情况。极端最高气温方面只有南部的罗甸县和东部的铜仁市 > 39°C,其他地区即便是夏季也没有极端高温。而极端最低气温方面只在南部的罗甸县为 > 0°C,其他均 < 0°C,最低的地区是西部的威宁县。

表 4 中显示出了所选取的五个台站年代际气温倾向率。全省在上世纪 60 年代均为负倾向率,显示出 60 年代全省皆为降温趋势;在 70 年代除了西部的威宁县出现了 -0.29°C/10a 的气温倾向率外,其余台站均为正值,皆有不同程度的升温;80 年代依旧只有西部威宁县出现 -0.14°C/10a 的降温性气候倾向率,其余台站的气温倾向率都为正,但升温幅度不如 70 年代明显;90 年代所有台站的气温倾向率都 > 0,全省都为升温趋势,东部铜仁出现了 0.63°C/10a 的相对较大增温幅度;进入二十一世纪后,气温继续呈现全省性升温,而且增温幅度较之前几个年代都较大,西部的威宁县甚至出现了 0.82°C/10a 的大幅增温。

对所采用的 19 个台站数据分别进行了 Mann-Kendall 突变检验分析后发现,其中有 13 个台站出现了突变,且为上升,另外 6 个台站无法判断突变时间或突变上升趋势不显著,出现上升趋势并发生突变的台站在所有参与分析台站中的例为 68.4%,占全部台站的大多数,这与全省平均温度是呈现上升趋势是一致的。

由表 5 知, 在平均最高气温和平均最低气温方面, 与平均气温的趋势基本相同, 平均最高气温最高的地区依旧位于南部的罗甸县, 达到 26.1℃, 同时该地的平均最低气温也是最高的, 达到 16.8℃, 甚至高于平均最高气温最低只有 16.4℃的西部威宁县, 同样的, 最低的平均最低气温也是威宁站, 只有 7.1℃。

3.3. 光照的时间变化

Wolfgang-Albert 等[13]研究了西欧 1938 年到 2004 年日照时数的变化情况, 发现自 1950 年左右开始一直到 80 年代初期, 西欧地区出现了日照时数下降的趋势, 90 年代以后开始出现增加, 在 2003 年左右达到最高, 他们认为全球在过去的半个世纪经历了一次“变暗”到“变亮”的过程。Kaiser 等[14]研究又发现, 上世纪后半叶我国的平均日照时数以 1%/10a 的速率在下降, 其中东部地区的日照时数下降较为明显。国内对贵州及周边地区的研究[15] [16]发现贵州及周边地区也存在日照时数减少的现象, 并且大气污染、气溶胶增多造成的雾霾增加可能是日照时数减少的原因。

取用 19 个台站 1959 年起至 2010 年的多年平均日照时数进行距平分析。图 8 和图 9 分别为 19 个台站的资料统计得出的贵州省多年平均日照时数的距平和累计距平曲线。由图 9 可知贵州省过去 1959 至

Table 3. Temperature of different parts in Guizhou province (°C)

表 3. 贵州各地区气温状况(单位: °C)

地区	年平均气温	年平均气温距平	极端最高气温	极端最低气温
桐梓县(北部)	14.8	-1.6	36.6	-6.9
铜仁市(东部)	17.2	0.8	40.5	-9.2
罗甸县(南部)	19.7	3.3	39.5	1.6
威宁县(西部)	10.6	-5.8	31.5	-15.3
贵阳市(中部)	15.2	-1.2	35.4	-7.8

Table 4. Tendancy rate of average temperature in Guizhou province (°C)

表 4. 贵州各地气温倾向率(单位: °C)

地区	1960~1969	1970~1979	1980~1989	1990~1999	2000~2009
桐梓县(北部)	-0.44	0.41	0.04	0.14	0.39
铜仁市(东部)	-0.34	0.40	0.08	0.63	0.76
罗甸县(南部)	-0.35	0.25	0.15	0.30	0.33
威宁县(西部)	-0.10	-0.29	-0.14	0.46	0.82
贵阳市(中部)	-0.32	0.32	0.07	0.34	0.44

Table 5. Maximum and Minimum average temperature in Guizhou province (°C)

表 5. 贵州省各地平均最高最低气温(单位: °C)

地区	平均最高气温	平均最低气温
桐梓县(北部)	19.1	11.8
铜仁市(东部)	22.3	13.7
罗甸县(南部)	26.1	16.8
威宁宁(西部)	16.4	7.1
贵阳市(中部)	19.8	12.1

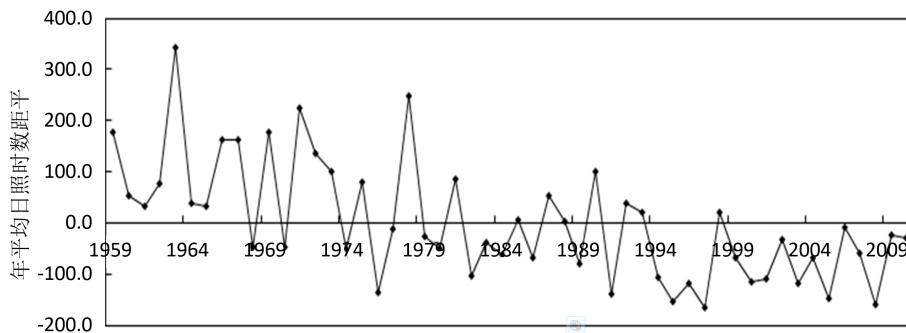


Figure 8. Annual average sunshine duration between 1959 and 2010 in Guizhou Province

图 8. 1959 年~2010 年贵州省多年平均日照时数距平曲线

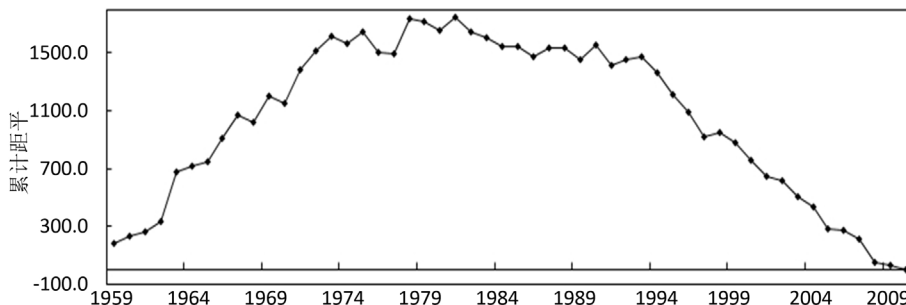


Figure 9. Cumulative average sunshine duration between 1959 and 2010 in Guizhou Province

图 9. 1959 年~2010 年贵州省多年平均日照时数累计距平曲线

2010 年之间平均日照时数变化也可以大致分为两个阶段：1959 年至 1978 年，日照时数正累积距平值不断增加，说明这段时间内的日照时数不断增加中，特别是 1963 年正向距平达到 341.1 h，达到 50 年来最高，其次是 1978 年达到 246.5 h，这期间年日照时数的平均值是 1356.1 h；1979 年至 2010 年日照时数累计正距平开始呈现减少趋势，，可以判断为“变暗”，这段时间日照时数的平均值为 1214.9 h。

表 6 可以看出进入八十年代以后多年平均日照时数的年代平均值距平为负，这也说明上世纪八十年代开始贵州省存在明显的“变暗”，除上世纪 60 年代和本世纪最初的 10 年以外，气候倾向率都是负的，说明上世纪 70 年代到 90 年代日照时数减少的明显趋势。2000 年开始的 10 年日照时数的略微增加趋势可能与台站周围环境的变化有关。年日照时数的突然转变从距平图上能看出是在 1979 年，由前一年 246.5 h 的正距平转变为当年 -26.2 h 的距平值，累积正距平也由当年开始减少，1978 年全省年平均日照时数达到 1515.7 h，但前后两年分别只有 1255.7 h 和 1243.0 h。图 8 的年日照时数距平图中也能发现，明显的日照时数偏多的年份集中在前半部分，尤其是 1978 年以前的年份，1978 年以后的年份中只有 1981、1987、1990、1992、1993 和 1998 年的日照时数距平值为正，本世纪的 10 年全部为负距平值。

杨小梅等[5]研究发现西南地区的年平均日照时数总量以 31.9 h/10a 的倾向率降低，年际变化也存在 60 年代的增加，70 到 90 年代的持续减少以及之后的回升趋势。60 年代的日照时数降低幅度高于全部统计时间的平均值，并且 90 年代以后日照时数显著增加。显然这与贵州省的整体日照时数变化是相符的。

由图 10 年日照时数的线性趋势拟合线和五年滑动平均曲线可以看出，50 年来贵州省多年平均日照时数总体呈现下降趋势。由 Mann-Kendall 突变检验分析(图 11)可知，贵州省年平均日照时数从上世纪 70 年代中期开始呈下降趋势且趋势达到显著(显著性水平 0.05)，突变发生在 1989 年左右。由图 12 可以找出贵州省 50 多年日照时数变化存在 3 年左右的周期，80 年代以前存在 7 年左右的周期，同时 1986 年到 1994 年左右存在一个 16 年的周期。综合 Mann-Kendall 突变检验和小波周期分析，80 年代以前是贵州省日照

Table 6. Decade departure and tendency rate of sunshine duration in Guizhou province
表 6. 贵州省年日照时数年代际距平和气候倾向斜率

年代	1960~1969	1970~1979	1980~1989	1990~1999	2000~1009
年日照时数距平/h	102.3	51.1	-25.8	-57.9	-84.4
气候倾向率 h/10a	27.2	-60.1	-5.4	-113.9	35.1
变化趋势	↑	↓	↓	↓	↑

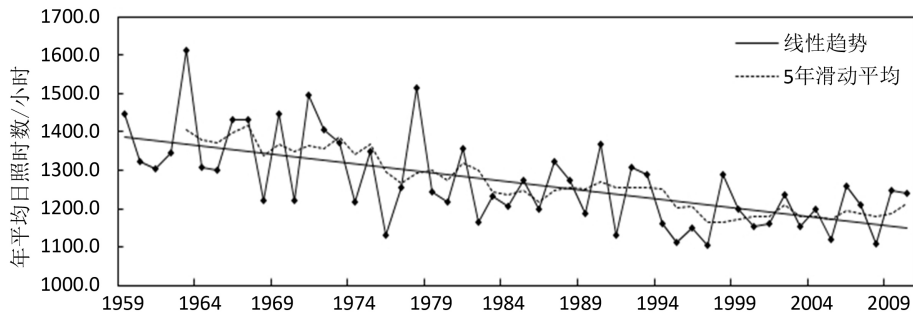


Figure 10. Linear trend of annual average sunshine duration between 1959 and 2010 in Guizhou
图 10. 1959 年~2010 年贵州省多年平均日照时数线性趋势

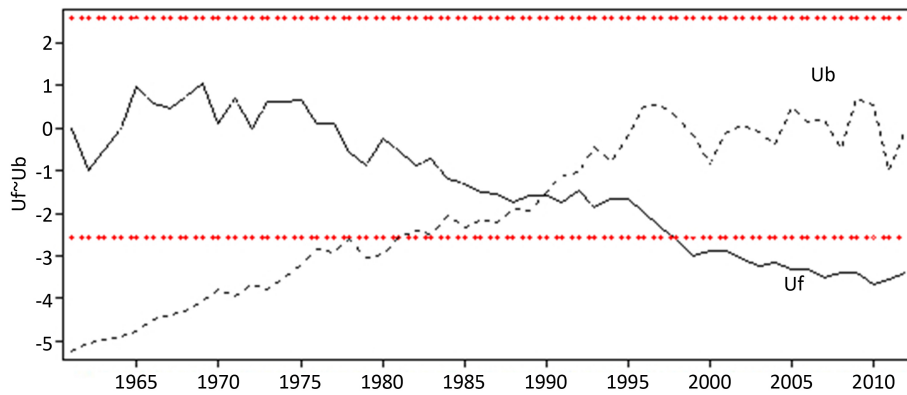


Figure 11. Man-Kendall test of average sunshine duration between 1959 and 2010 in Guizhou
图 11. 贵州省 1959 年~2010 多年平均日照时数 Mann-Kendall 突变检验图

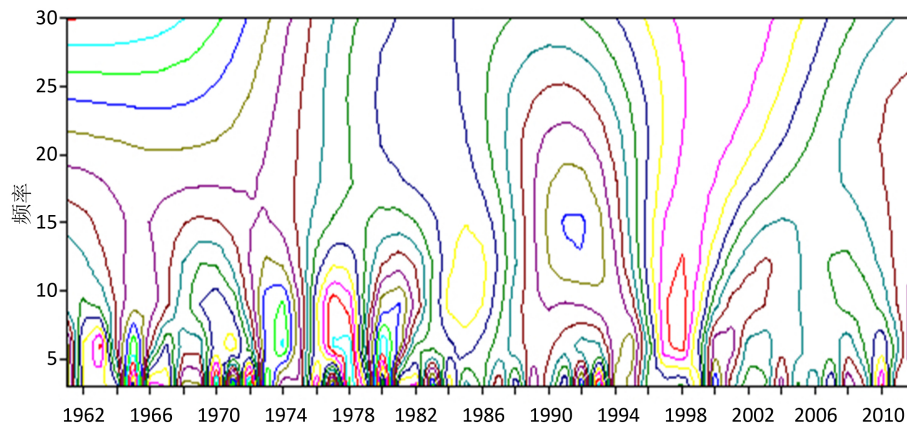


Figure 12. Wavelet analysis of average sunshine duration between 1959 and 2010 in Guizhou
图 12. 贵州省 1959 年~2010 多年平均日照时数小波分析图

时数偏多的时期，80年代中后期日照时数开始突变并且呈下降趋势。有研究表明，在二十世纪后半叶，贵州省云量并没有增加导致地面能接受太阳辐射减少，反而是出现了云量下降的状况，由此可以推断，云量的增减并不是主要影响贵州省出现明显的日照时数减少的因素，这与普遍认为的云量增加导致日照时数减少相反。

3.4. 光照的空间变化

结合 19 个台站的分布与各站平均年日照时数，由图 13 贵州省平均年日照时数分布图可以看出贵州省平均年日照时数南部高于北部，西部高于东部，总体呈西南 - 东北降低的形势。其中平均日照时数最高的地区为西部威宁县台站所测得，平均年日照时数达到 1715.5 h，最低出现在桐梓县台站，多年平均日照时数只有 1058.5 h，两地相差 1.6 倍。

贵州省本身地势为西高东低，由中部向北部、东部和南部倾斜，地势越高受到的太阳辐射越高，这与日照时数西高东低，中央及西部高于北部、东部形势相符。说明多山地区的日照时数分布与其地势高低有关。有研究表明[4]，由于太阳高度角的不同，地形对太阳辐射的遮蔽作用不同，所以各地的日照时数不同季节分布不同，特别是夏季太阳高度角较高，地形的遮蔽较少，这使得贵州省东北部部分地区的夏季的日照时数比较长，日照时数的空间差异相对减小。山地的坡向和坡度，以及山地之间的相对高差等造成的地形遮蔽，对日照时数有明显的影 响，在贵州省这种地形崎岖的山区，日照时数的空间差异明显。

选取贵州省东南西北及中部各一台站(铜仁、罗甸、威宁、桐梓和贵阳)的平均年日照时数进行比较。如表 7 所示，年平均日照时数最高的地区是位于西部的威宁县，比全省多年平均日照时数高了 438 h；年平均日照时数最低的地区则是位于北部的桐梓县，比全省多年平均日照时数低了 219 h；不同地区的年平均日照时数由高到低依次是西部 > 南部 > 中部 > 东部 > 北部，也符合全省的地势情况。

表 8 中显示出了所选取的五个台站做年代际日照时数倾向率统计。全省在 60 年代东部和中部出现了日照时数下降，其他地区为上升趋势且上升较为明显；70 年代所有台站的日照时数倾向率均为负值，皆有不同程度的时长减少，其中中部下降较为明显；80 年代东部出现了日照时长的回升，北部和南部的日照时数基本持平变化不明显，西部和中部的日照时数继续减少；90 年代所有台站的日照时数倾向率都 < 0，全省都为日照时长减短的趋势，北部桐梓县出现了-335.6 h/10 a 的相对较大减小幅度；进入二十一世纪后，

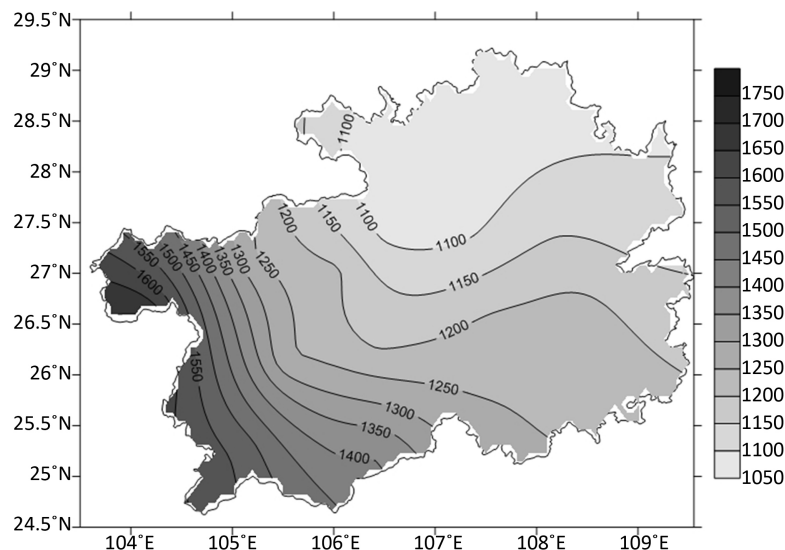


Figure 13. Annual sunshine duration distribution in Guizhou province

图 13. 贵州省年平均日照时数分布

Table 7. Sunshine duration in Guizhou province (h)**表 7.** 贵州各地区日照时数状况(单位: h)

地区	平均年日照时数距平	平均年日照总量
桐梓县(北部)	-210.3	1058.9
铜仁市(东部)	-137.7	1131.5
罗甸县(南部)	117.8	1387
威宁县(西部)	446.3	1715.5
贵阳市(中部)	-101.2	1168

Table 8. Tendency rate of sunshine duration in Guizhou province (h/10a)**表 8.** 贵州各地日照时数倾向率(单位: h/10a)

地区	1960~1969	1970~1979	1980~1989	1990~1999	2000~2009
桐梓县(北部)	166.4	-43.8	4.5	-335.6	334.0
铜仁市(东部)	-38.9	-92.7	159.0	-104.5	-132.6
罗甸县(南部)	235.2	-37.0	-1.8	-41.8	353.5
威宁县(西部)	210.2	-87.6	-239.4	-182.3	-172.1
贵阳市(中部)	-156.7	-176.4	-55.1	-191.8	-135.7

日照时数在北部和南部的台站出现较大幅度的回升, 分别为 334.0 h/10 a 和 353.5 h/10 a, 其余地区仍然维持日照时数减少的趋势。总体看来, 西部和中部的日照时数减小趋势是从 1960 年以来就持续的, 其他地区在二十一世纪出现了日照时数增长的现象。有调查表明贵州省部分台站由于工业化和城市化的发展, 造成台站周边环境恶化或建筑增加等使监测环境恶化, 近 20 年来的监测值尽管技术和设备更为先进, 还是会受到周边环境的影响, 且影响显著。对于日照时数的监测来说, 周边排放的污染物导致的气溶胶增加能产生不可忽视的影响。

对全部 19 个台站进行了 Mann-Kendall 突变检验后发现, 有 16 个台站出现了平均年日照时数下降的现象, 另外 3 个台站的无法判断突变或下降趋势不显著, 出现下降趋势并发生突变的台站在所有参与分析台站中有 84.2%, 占全部台站的绝大多数, 可以说明全省大部分地区存在日照时数减少的现象。在观察 16 个通过 Mann-Kendall 突变检验的台站后发现部分台站在后来的 10 至 15 年出现了日照时数回升趋势, 这种日照时数近年来的增长可能与贵州省进行的环境治理和保护工作取得一定成效有关, 关停了一部分污染企业减少了排放的硫酸盐气溶胶的数量, 使凝结核减少减轻了当地的雾霾, 提高当地空气质量。这也可以从另一方面反映贵州省日照时数的减少可能与大气气溶胶浓度有相关性。

4. 结论和讨论

1) 1959 年以来贵州省年平均气温随时间变化总体趋势是上升的。全省平均温度的变化可以分为两个阶段: 1959 年至 1997 年为平均气温偏冷阶段, 年平均气温是 16.3℃; 1998 年到 2010 年是平均气温偏暖阶段, 年平均气温为 16.8℃; 1998 年为统计的 52 年中最热年份, 当年平均气温为 17.2℃。贵州省年平均温度的气候倾向率除了 60 年代外均为正值, 表明了 60 年代以后持续的增温趋势, 其中 2000 年到 2010 年期间的气候倾向率达到 0.44℃/10a, 增温趋势更为明显。通过小波分析能看出贵州省年平均气温存在多尺度的冷暖周期, 通过 Mann-Kendall 突变检验发现气温产生突变的年份为 1998 年, 并且有气温持续上升的趋势。

2) 贵州省年平均气温的空间分布为南部 > 北部, 东部 > 西部, 整体呈现由东南向西北的降温分布。全年平均温度最高的是南部地区, 罗甸县台站多年平均气温达到 19.7℃; 全年平均温度最低的是西部地区, 位于西部的威宁县台站多年平均气温仅为 10.6℃。60 年代全省的温度呈波动状态, 70 和 80 年代除了西部以外其他地区均为上升, 进入 21 世纪以后全省的年平均温度都有上升。68.4% 的台站通过了 Mann-Kendall 突变检验, 说明全省大部分地区温度处于上升状态。年平均最高温度为南部罗甸县台站的 26.1℃, 年平均最低温度为西部威宁县台站的 7.1℃, 平均最高与最低气温的分布与平均气温相符。

3) 贵州省日照时数自 1959 年以来整体呈现减少的趋势。1959 年至 2010 年年平均日照时数的变化也可大致分为两个阶段: 1959 年到 1978 年为“变亮”的阶段, 在此期间的年平均日照时数达到 1356.1 h; 1979 年至 2010 年为“变暗”的阶段, 这段时间的年平均日照时数为 1214.9 h; 但是最后的 10 到 15 年期间部分台站呈现日照时数略有增加的趋势。1963 年是所统计区间日照时数最多的年份, 当年日照时数达到了 1606 h, 其次是 1978 年日照总时长为 1533 h; 日照时数最短的年份是 1997 年, 年日照总时长仅为 1095 h。年平均日照时数的气候倾向率在 60 年代为正值, 全省日照时数增多, 70 和 80 年代为负值日照时数持续减少, 到了二十一世纪又变为正值, 部分地区的日照时数再次出现增长。通过小波分析发现年平均日照时数同样存在多个尺度的增减周期, Mann-Kendall 突变检验又验证了全省整体日照时数减少的趋势, 突变年份为 1989 年。

4) 贵州省年平均日照时数的空间分布为南部 > 北部, 西部 > 东部, 整体呈现由西南向东北的减少分布。年平均日照时数最多的地区是西部, 威宁县台站的平均年日照时数为 1715.5 h; 而年平均日照时数最少的地区是北部, 该地区桐梓县台站的平均年日照时数仅为 1058.5 h, 平均年日照时数最高的地区日照时数是最低地区的 1.6 倍。中西部地区从 60 年代开始日照时数就持续减少, 而其他地区经历了年平均日照时数的增加和 70、80 年代的持续减小后在二十一世纪最初十年又呈现增长态势。84.2% 的台站通过了 Mann-Kendall 突变检验, 说明全省大部分的台站都处于日照时数减少的状态, 部分台站还呈现出最后 10 至 15 年年平均日照时数增长的趋势。

基于上述结论, 贵州省南部、黔东南及东部地区为气温和日照时数条件, 更利于农业生产, 而西北部的毕节地区以及黔中的部分地区, 可能光温条件要稍差, 存在较高的农业气象灾害风险。

贵州省气温变化趋势与二十世纪后半叶开始全国的气温升高和北半球整体的气温升高一致, 并且同全球气候变化在这一个小周期里整体呈现变暖的趋势也相符合。然而日照时数减少却滞后于全球变化 10 年左右, 这可能与贵州省所处地区有关。贵州省西部的青藏高原是天然的屏障, 对区域气候有显著影响, 且由于处于云贵高原东部的贵州省平均海拔较高, 多山地的地形使贵州的阴雨天气也较全国其他地区更多。其次贵州地区的经济社会发展没有东部及沿海地区快速, 工业化和城镇化导致的环境污染较其他地区相对滞后, 污染带来的大气气溶胶浓度和成分的变化对日照时数有较强影响, 因此贵州省日照时数变化存在滞后。另外, 少数台站的监测条件也存在不足, 由于周围地区的发展, 标准台站要求的空间环境条件很难被满足, 导致日照时数监测值的不准确。二十一世纪以后部分地区日照时数的回升, 可能是由于贵州省进行了相关的环境生态保护措施, 具体的影响因素有待进一步研究探讨。

通过本文对贵州省气温和日照时数时空变化的研究, 进一步了解到气候要素的变化是一个非常复杂的非线性气候学方面的课题, 除了要关注本身系统内在的自身变化外, 还要研究气候系统与其他要素的相互耦合作用等。本文仅从时间和空间分布作了简要的诊断分析, 并没有涉及到对气温变化以后的趋势的定性和定量预测的工作, 这是需要关注的重点领域。

参考文献 (References)

- [1] IPCC (2013) IPCC Fifth Assessment Report (AR5).

- [2] 李占杰, 鱼京善, 信达. 1951年-2010年贵阳市气温变化特征分析[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(5): 31-35.
- [3] 刘益兰. 贵阳近八十年气温变化的小波分析[J]. 贵州气象, 2001, 25(2): 10-14.
- [4] 袁淑杰, 缪启龙, 邱新法, 等. 贵州高原起伏地形下日照时间的时空分布[J]. 应用气象学报, 2008, 19(2): 233-37.
- [5] 郑小波, 罗宇翔, 周成霞, 等. 近45年来贵州省日照时数的变化特征[J]. 气象研究与应用, 2007, 28(增刊II): 1-4.
- [6] 杨小梅. 中国西南地区日照时数变化及影响因素[J]. 兰州大学学报, 2012, 48(5): 52-60.
- [7] 陈叔亮, 任景轩, 晁华, 等. 20世纪50年代以来我国气温的区域变化[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(7): 3561-3574.
- [8] Anderson, T.W. (1967) *Introduction to Multivariate Statistical Analysis*. 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York.
- [9] Gauch, H.G.J. (1982) *Multivariate Analysis in Community Ecology*. Cambridge University Press, Britain.
- [10] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2002.
- [11] 马振锋, 彭骏, 高文良, 等. 近40年西南地区的气候变化事实[J]. 高原气象, 2006, 25(8): 633-642.
- [12] 龚道溢, 王绍武. 1998年中国近一个世纪以来最暖的一年[J]. 气象, 1999, 25(8): 3-5.
- [13] Flügel, W.A. and Sanchez, L.A. (2010) From Brightening to Dimming in Sunshine Duration over the Eastern and Central Tibetan Plateau (1961-2005). *Theoretical and Applied Climatology*, **101**, 445-457. <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0231-9>
- [14] Qian, K.Y. (2002) Decreasing Trends in Sunshine Durations over China for 1954-1998: Indication of Increased Haze Pollution. *Journal of Geophysical Research*, **29**, 2042. <https://doi.org/10.1029/2002GL016057>
- [15] 李跃清. 近40年青藏高原东侧地区云、日照、温度及日较差的分析[J]. 高原气象, 2002, 2(3): 327-332.
- [16] 吴达鸿. 简析今年日照时数偏少的原因[J]. 广东气象, 2001(1): 35-36.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: crl@hanspub.org