



近 50 年甘肃日照时数时空变化特征及突变分析

摘要

利用甘肃省 26 个气象站 1961—2010 年逐月日照时数资料,采用线性趋势分析、异常年份分析、Mann-Kendall 和功率谱等方法,分析了日照时数的时空变化及突变特征。结果表明:50 年来,甘肃年日照时数表现为缓慢的下降趋势,气候倾向率为 $-0.29 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,1997 年以来显著减少;夏、冬季日照时数呈下降趋势,春、秋季则呈增加趋势;年日照时数异常偏少年份主要出现在 20 世纪 80 年代,而异常偏多的年份多发生在 20 世纪 90 年代至今;甘肃年日照时数空间差异明显,分布趋势基本上呈由东南向西北逐渐增多形势。Mann-Kendall 和 Yamamoto 突变检验表明,四季日照时数未发生显著突变。周期分析表明,甘肃年日照时数存在 2 a 的振荡周期,通过了 90% 置信度检验。

关键词

甘肃;日照时数;Mann-Kendall 检验;功率谱;时空变化

中图分类号 P412.14

文献标志码 A

收稿日期 2014-06-19

资助项目 公益性行业科研专项(201209027)

作者简介

史建桥,男,硕士生,研究方向为 3S 集成与气象应用.shijianqiao@163.com

白淑英(通信作者),女,博士,副教授,研究方向为遥感与 GIS 在资源环境中的应用.baishu-ying@163.com

0 引言

随着全球气候变暖、人口密集度增高、城市化进程加快,大气的物理结构和化学结构发生了明显变化^[1]。日照时数是反映太阳辐射时间长短的气候指标,是表征气候变化的重要气象要素之一,而气候变化是全球变化研究的核心问题和重要内容^[2]。近年来很多学者对日照时数的气候变化特征进行了分析。任国玉等^[3]研究指出,近 50 年来我国日照时数呈明显减少趋势,其减少幅度东部大于西部、平原大于山区,且冬、夏两季趋减幅度大于春、秋两季。买苗等^[4]分析发现黄河流域日照百分率的下降表现得非常明显,范围遍布整个流域的中、下游。陈少勇等^[5]利用 1961—2007 年西北地区 135 个站点日照时数资料,采用 EOF、Mann-Kendall 等分析方法,研究指出西北地区日照时数从东南向西北减少,甘青新交界区是西北地区日照的高值区,西北地区大部分地方日照时数显著减少,突变发生在 1980 年。黄小燕等^[6]分析指出,1960—2009 年西北大部分地区年日照时数变化呈减少趋势,以新疆中部、关中平原和秦巴山地减少最为突出。普宗朝等^[7]分析得出新疆乌昌地区年日照时数呈较显著减少趋势,在 1986 年发生突变性减少,总体表现为“平原多,山区少,东部多,西部少”的空间分布格局。孙娴等^[8]基于 DEM 数据,全面考虑坡度、坡向、地形遮蔽等地形因子对日照时数的影响,通过数值模拟,确定了山区日照时数计算模型,同时利用常规气象站资料考虑大气对日照时数的影响,建立了陕西省山区日照时数估算模型。

由于日照受诸多要素的影响,不同地区日照的变化特征具有明显的差异。前人对甘肃省日照时数的变化及空间分布特征的研究分析较少,因此,本文利用 1961—2010 年甘肃省 26 个气象站的逐月日照时数资料,采用异常年份分析、Mann-Kendall 检验、功率谱分析方法,详细分析日照时数的时空变化规律,有助于研究该地区对气候变化的响应,为进一步研究该区域气候特征及生态与环境的关系提供基础依据。

1 资料与方法

1.1 数据来源与处理

气象数据为中国气象科学数据共享服务网下载的“中国地面气候资料月值数据集”,选取甘肃省 26 个气象站 1961—2010 年的逐月

1 南京信息工程大学 地理与遥感学院,南京,210044

2 94783 部队 61 分队,长兴,313111

3 94857 部队 61 分队,芜湖,241007

4 浙江省嘉善县气象局,嘉兴,314100

日照时数资料.在 ArcGIS9.3 中采用反距离加权空间插值方法格网化为 10 km 分辨率的月日照时数数据.

1.2 线性倾向估计

根据日照时数的变化趋势,采用 $y=at+b$ 进行线性趋势拟合.其中 a 为线性变化趋势系数, t 为年份, $b<0(b>0)$ 表示日照时数在计算时段内呈下降(上升)趋势, $a \times 10$ 表示气候倾向率,单位为 $\text{h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ [5].采用相关系数法进行显著性检验.

1.3 异常年份分析

世界气象组织对气候异常提出两种判别标准,一是距平超过标准差的 2 倍以上,二是它出现的几率为 25 a 以上一遇[9].本文采用距平大于标准差的 2 倍作为异常,介于标准差的 1.5~2 倍之间为接近异常来分析甘肃日照时数的异常特征.

1.4 Mann-Kendall 检验

Mann-Kendall 方法[10]是一种非参数统计检验方法,其优点是不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,更适用于类型变量和顺序变量,计算也比较方便,常用来分析如气温、降水、径流、水质等水文气象时间序列资料的长期变化趋势[11],还可以进一步用于检验序列突变[12].

设有一时间序列为 x_1, x_2, \dots, x_n , 构造一秩序列 r_i, r_i 表示 $x_i > x_j (1 \leq j \leq i)$ 的样本累积数.定义

$$S_k = \sum_{i=1}^k r_i, \quad k = 2, 3, \dots, n, \quad (1)$$

其中

$$r_i = \begin{cases} 1, & x_i > x_j, \\ 0, & x_i \leq x_j. \end{cases} \quad (2)$$

S_k 均值 $E(S_k)$ 以及方差 $\text{var}(S_k)$ 定义如下:

$$E(S_k) = \frac{k(k-1)}{4}, \quad \text{var}(S_k) = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72}.$$

在时间序列随机独立的假定下,定义统计量:

$$U_{F,k} = \frac{S_k - E(S_k)}{\sqrt{\text{var}(S_k)}}, \quad k = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (3)$$

其中 $U_{F,1} = 0$. $U_{F,k}$ 为标准正态分布,给定一显著水平 α ,查正态分布表得到临界值 U_α ,当 $|U_{F,k}| > U_\alpha$,表明序列存在一个明显的增长或减少趋势,通过信度检验可知其是否具有趋势.按时间序列 x 逆序,再重复上述计算过程,得到 $U_{B,k}$,同时使

$$U_{B,k} = -U_{F,k}, \quad k = n, n-1, \dots, 1, \quad (4)$$

分析绘出的 $U_{F,k}$ 和 $U_{B,k}$ 曲线图,若 $U_{F,k}$ 的值大于 0,

则表明序列呈上升趋势,小于 0 则表明呈下降趋势;当它们超过信度线时,即表示存在明显的上升或下降趋势;若两曲线出现交点,且位于信度线之间,那么交点对应的时刻就是突变开始的时刻.

本文用 Mann-Kendall 法对甘肃省四季日照时数进行突变分析,并采用 Yamamoto 法对突变点进行检验.

1.5 功率谱分析

功率谱是应用极为广泛的一种分析周期的方法,它是以傅里叶变换为基础的频域分析方法,其意义为将时间序列的总能量分解到不同频率上的分量,根据不同频率波的方差贡献诊断出序列的主要周期,从而确定周期的主要频段,即序列隐含的显著周期[10].

本文利用 redfit3.8[13]对甘肃省年日照时数的周期进行分析.

2 研究结果

2.1 日照时数时变特征

2.1.1 年际和季节变化

1961—2010 年甘肃省年平均日照时数为 2 733.9 h(图 1a),1965 年最多(2 932.8 h),1989 年最少(2 528.6 h).整体而言,甘肃年日照时数表现为缓慢下降趋势($-0.29 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$).从图 1a 中还可以看出,1981—1996 年日照时数明显偏少,有 11 a 日照时数低于平均值,其中有连续 5 a 低于 2 700 h;1997—2010 年减少趋势为 $-109.8 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,通过了 0.05 显著性检验.

统计结果表明(图 1b):甘肃省夏、冬季日照时数呈下降趋势,气候倾向率为冬季($-5.0 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$)>夏季($-3.5 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$),表明冬季日照时数对气候变化响应的敏感性;春、秋季日照时数呈增加趋势,气候倾向率为春季($6.2 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$)>秋季($2.0 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$),但四季变化趋势都不显著,均未通过 0.05 显著性检验.冬季日照时数的减少可能与该地区冬季取暖燃烧的排放有关,大气中气溶胶浓度的增加是导致总辐射和直接辐射下降的重要原因之一[14-15].

2.1.2 异常年份分析

从近 50 年甘肃省年、季日照时数的异常(含接近异常)年份(表 1)来看:

1) 甘肃省春季日照时数共出现 3 次异常偏少年份,主要发生在 20 世纪 60 年代中期和 90 年代,其

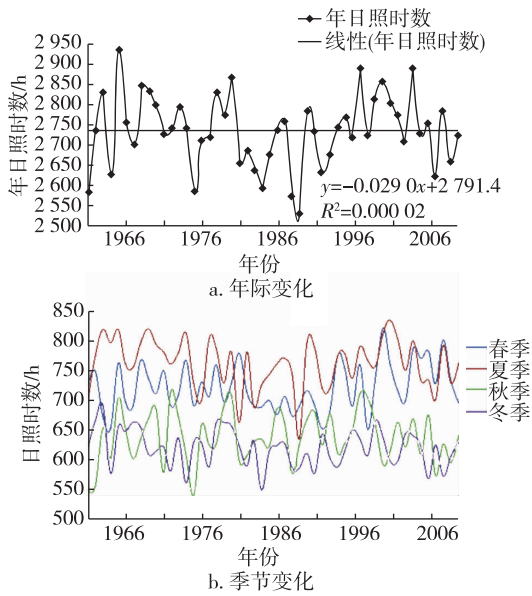


图1 1961—2010年甘肃日照时数年际变化和季节变化
Fig. 1 Annual and seasonal variations of sunshine duration in Gansu during 1961 to 2010

中1998年异常偏少71.4 h,异常偏多年份都出现在2000年以后;夏季日照时数以异常偏少年份为主,主要出现在20世纪80年代,1989年为近50年最低值,较多年平均值偏少126.1 h,异常偏多年份出现在21世纪初;秋季,日照时数以异常偏多年份为主,在20世纪60年代至90年代均有发生,异常偏少年份发生在20世纪60和70年代,以1975年偏少96.1 h最为明显;在冬季,历史上仅在1963年出现异常偏多,而1974、1984和2006年异常偏少,较多年平均值分别偏少58.4、71.0和51.2 h.

表1 1961—2010年甘肃年、季日照时数的异常年份
Table 1 Anomalous years of annual and seasonal sunshine duration over Gansu during 1961 to 2010

	接近异常	异常
春季	2004(+), 2008(+), 1964(-), 1992(-), 1998(-)	2000(+)
夏季	2001(+), 1961(-), 1983(-)	1981, 1989(-)
秋季	1965(+), 1972(+), 1980(+), 1997(+), 1998(+), 1962(-)	1961, 1975(-)
冬季	1974(-), 2006(-)	1963(+), 1984(-)
全年	1997(+), 2004(+), 1961(-), 1975(-), 1984(-), 1988(-)	1965(+), 1989(-)

2) 甘肃省年日照时数异常偏少年份主要出现在20世纪80年代,主要是由于夏、冬季日照时数异常

史建桥,等.近50年甘肃日照时数时空变化特征及突变分析.

偏少造成的,而异常偏多年份多发生在20世纪60年代和90年代后期,其中1965年为近50年来最多,较多年平均值偏多199.0 h.

2.1.3 月际分布

甘肃省多年平均日照时数年内分布规律表现为双峰型特点.从图2可以看出,年内最高峰出现在5月.甘肃省雨季短、雨量集中在夏季^[7],因此日照时数最大值出现在雨季到来之前的5月,从6月开始雨量增多,日照时数逐渐减少,8月降雨时数最多,进入9月降水减少,日照时数在短时有回升,但不明显.2月的日照时数最少,月平均值为199.0 h.甘肃日照时数逐月分布规律与黄小燕等^[6]的分析结果基本一致.

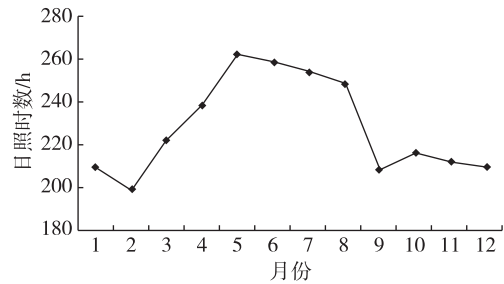


图2 1961—2010年甘肃日照时数的逐月分布
Fig. 2 Monthly distribution of sunshine duration in Gansu during 1961 to 2010

2.1.4 年代际变化

从甘肃近50年日照时数的年代际变化(图3)来看,20世纪60和70年代,甘肃的日照时数为正距平,甘肃日照时数比较丰富,20世纪80年代日照时数大幅减少,从60年代的正距平(29.1 h)到80年代的日照时数最小值,距平值为-72.3 h,90年代开始日照时数又转为正距平,日照时数高于多年平均值,进入21世纪后日照时数虽为正距平,但仍有所

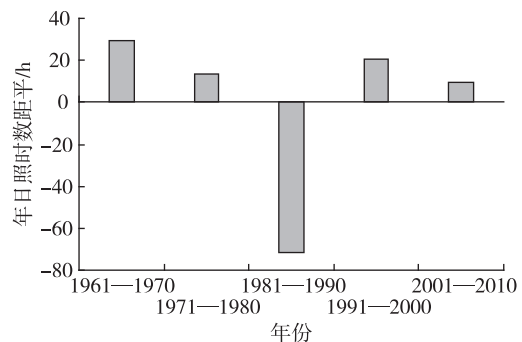


图3 1961—2010年甘肃日照时数的年代际变化
Fig. 3 Decadal anomaly variation of sunshine duration in Gansu during 1961 to 2010

减少,且这种下降趋势可能会有所持续。

2.1.5 周期分析

分析日照时数的周期特征,不仅有助于更好地理解其过去变化,也有利于推测未来的演变。基于 redfit3.8,采用 welch 方法计算甘肃省近 50 年年日照时数的变化周期,结果如图 4 所示。分析表明:甘肃省年日照时数存在多尺度的周期结构特点,即 16、7、5 和 2 a 的变化周期,只有 2 a 通过了 90% 置信度检验。其中 7 a 左右的周期与厄尔尼诺显现有关,2 a 的周期与大气环流 2~4 a 准周期一致^[16]。

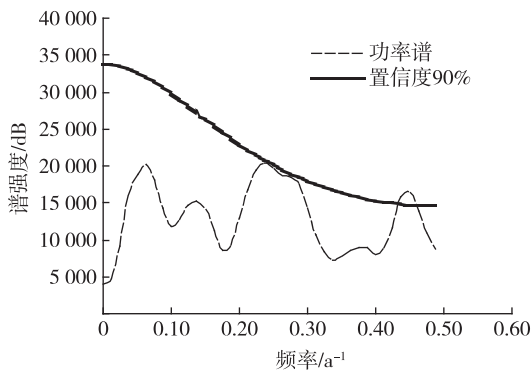


图 4 甘肃日照时数功率谱分析结果

Fig. 4 Analysis results of power spectrum for sunshine duration in Gansu

2.1.6 突变特征

符淙斌等^[17]对气候突变的定义进行了总结,将突变归纳为均值突变、变率突变、转折突变和跷跷板突变 4 类。图 5 给出了 1961—2010 年甘肃省四季日照时数的 Mann-kendall 突变分析结果,取 95% 置信度水平(+1.96 信度线)。从图 5a—5d 的描述中可知:春季日照时数在增加过程中发生了突变,时间在 2003 年前后;夏季日照时数在减少过程中也发生了突变,时间在 1971 年和 1997 年前后;秋季 UF 曲线与 UB 曲线在信度线内没有交点,说明日照时数在上升过程中未发生突变;冬季日照时数在 1968 年前后发生了突变。经过 Yamamoto 判断分析,春季、夏季和冬季能见度均未发生显著突变,只是日照时数变化发生了转折,即由日照时数的减少转为增加(春季)或日照时数的增加转为减少(夏季和冬季)。

2.2 日照时数空间变化特征

以计算得出的 26 个气象站点年日照时数及其变化趋势的气候倾向率为要素值,基于 Arcgis9.3 的反距离加权空间插值法,绘制 1961—2010 年甘肃省年日照时数及其变化趋势的空间分布(图 6)。

50 a 来,甘肃省年平均日照时数在 1 900~3 400 h 之间,空间分布趋势基本上是由东南向西北逐渐增

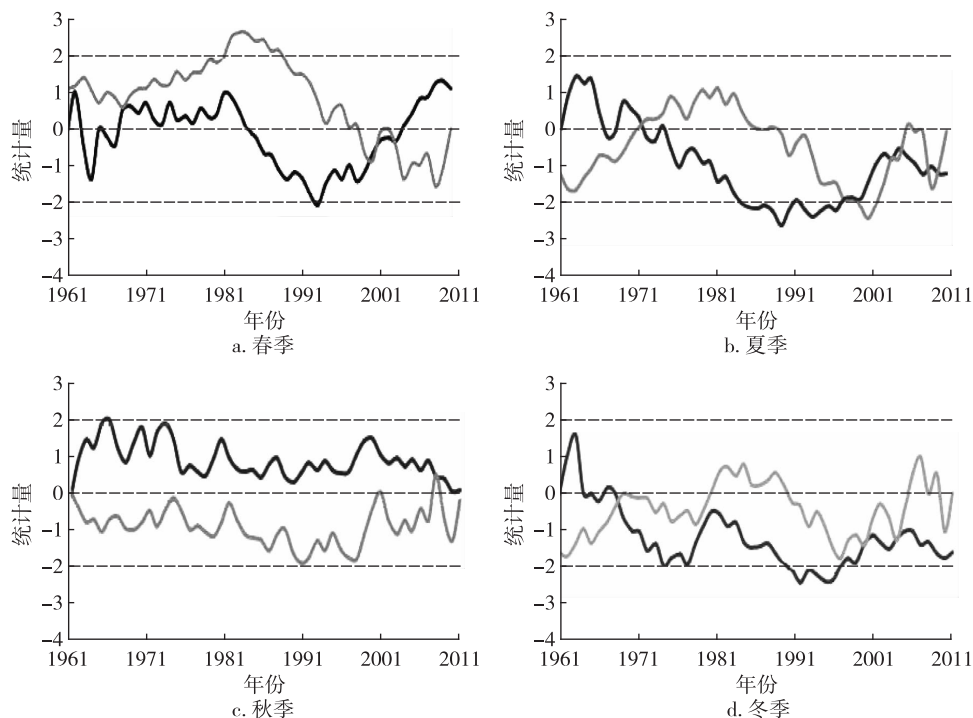


图 5 1961—2010 年甘肃春、夏、秋和冬日照时数的 Mann-kendall 突变分析结果 (黑实线为 UF; 灰实线为 UB; 虚线 95% 信度线)

Fig. 5 Abrupt change of seasonal sunshine duration in Gansu from 1961 to 2010

多(图 6a).具体表现为河西走廊和甘南高原地区年日照时数在 2 800~3 400 h 之间,陇中武威、张掖一带年日照时数为 2 700~3 000 h,兰州以南的陇中中东部和甘南山地年日照时数为 2 200~2 700 h,陇南山地年日照时数 1 900~2 200 h 为整个地区最少.在武威东北部的民勤地区存在一个高值中心,可能与该地的地理环境有关.年日照时数最多的台站在马鬃山,达到 3 574.5 h(2004 年),最少的是天水,年日照时数为 1 495.5 h,出现在 1988 年.

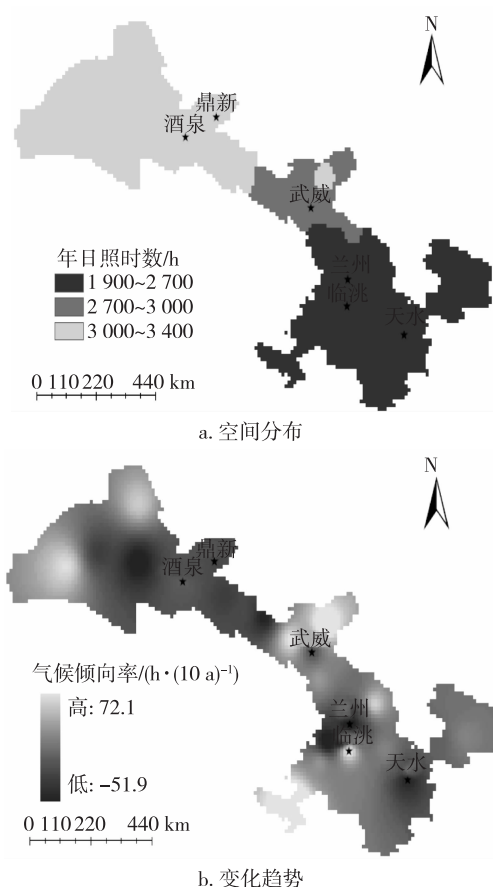


图 6 1961—2010 年甘肃年平均日照时数的空间分布和变化趋势

Fig. 6 Spatial distribution of annual mean sunshine duration and change trend in Gansu during 1961 to 2010

由图 6b 可见,甘肃省年日照时数变化的空间差异很明显.具体表现为山丹以北的河西走廊和甘南高原一带,除马鬃山和敦煌两个高值中心(气候倾向率分别为 29.6 和 $35.5 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$),基本上呈下降趋势,平均气候倾向率为 $-22.0 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$;山丹以南的陇中中部和东部及陇南地区,除陇中的兰州大部、榆中、临夏、武威及天水和平凉等局部地区外,则呈上升趋势,平均气候倾向率为 $24.3 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,

史建桥,等.近 50 年甘肃日照时数时空变化特征及突变分析.

尤以玛曲日照时数增加幅度最大,气候倾向率为 $72.1 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,且日照时数减小幅度最大出现在兰州,气候倾向率为 $-51.9 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$.

3 讨论

随着城市化进程加快,城市大气中的气溶胶颗粒物、碳氧化物等空气污染物明显增多,大气污染严重,云量增多,从而增强了大气对太阳光的反射和吸收作用,阻碍了到达地面的太阳辐射,造成日照时数下降^[1,18].近 50 年甘肃省年日照时数呈缓慢下降趋势,这与我国大部分地区的变化基本一致^[3-7].甘肃省年日照时数从 20 世纪初开始大幅下降,在 80 年代末达到最低值,这与西北大部分地区在 1981 年出现负距平,再到 1989 年降到最低值的结论^[6]是一致的.甘肃省夏季与冬季年日照时数呈下降趋势,这与全国及其他区域的变化是一致的,但是春秋季节呈增加趋势与全国及其他区域的变化不一致,这可能与沙尘暴多出现在春秋季节,且该地区近 47 年来沙尘暴次数有所减少有关^[19].1961—2010 年甘肃日照时数的逐月分布与 1960—2009 年甘肃省平均风速逐月分布曲线^[6]十分相似,说明甘肃省的日照时数可能和风速有一定关系.城镇化、人口增加、经济发展等因素都会造成日照时数减少,这些原因又间接引起风速减少、气溶胶增加.日照时数在农业生产、城镇建设、旅游资源、太阳能电站等规划中占有非常重要的地位,必须合理利用太阳能资源.因此,对于甘肃日照时数精细化时空变化的成因,如地形分布、气象因子、气溶胶、风速等,以及人类活动与气候变化对甘肃日照时数的影响需要进一步详细研究.

4 结论

利用甘肃省 26 个气象站日照时数资料,结合 Mann-Kendall 突变检验、异常年份分析、功率谱等方法,分析了日照时数的时空变化规律及突变特征,主要结论如下:

1) 50 a 来,甘肃省年日照时数表现为缓慢下降趋势,气候倾向率为 $-0.29 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,1997 年以来显著减少;夏、冬季日照时数呈下降趋势,春、秋季呈增加趋势,冬季减少幅度大于夏季,春季增加幅度大于秋季.

2) 年日照时数异常偏少年份主要出现在 20 世纪 80 年代,主要是由于夏、冬季日照时数异常偏少

造成的,而异常偏多年份多发生在 20 世纪 60 年代和 90 年代以后。

3) Mann-Kendall 和 Yamamoto 检验表明,四季日照日数未发生显著突变。

4) 日照时数空间分布趋势基本上呈由东南向西北逐渐增多形势。其中兰州市年日照时数减少幅度最大,玛曲则为增加趋势最明显区域。

5) 周期分析表明,年日照时数存在 2 a 的振荡周期,通过了 90% 置信水平检验。

参考文献

References

- [1] 井立红,井立军,高婧,等.塔城地区日照时数变化特征及影响因子分析[J].干旱区资源与环境,2010,24(7):120-126
JING Lihong, JING Lijun, GAO JING, et al. Change characteristics of sunshine duration and the impact factors in Tacheng region[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010, 24(7): 120-126
- [2] 霍华丽,刘普幸,张克新.宁夏日照时数的时空变化特征分析[J].中国沙漠,2011,31(2):521-524
HUO Huali, LIU Puxing, ZHANG Kexin. Spati-temporal change of sunshine hour in Ningxia during the past 50 years[J]. Journal of Desert Research, 2011, 31(2): 521-524
- [3] 任国玉,郭军,徐铭志,等.近 50 年中国地面气候变化基本特征[J].气象学报,2005,63(6):942-952
REN Guoyu, GUO Jun, XU Mingzhi, et al. Climate changes of China's mainland over the past half century[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2005, 63(6): 942-952
- [4] 买苗,曾燕,邱新法,等.黄河流域近 40 年日照百分率的气候变化特征[J].气象,2005,32(5):62-66
MAI Miao, ZENG Yan, QIU Xinfu, et al. Variation of sunshine percentage for the last 40 years in the Yellow River Basin[J]. Meteorological Monthly, 2005, 32(5): 62-66
- [5] 陈少勇,张康林,邢晓宾,等.中国西北地区近 47 年日照时数的气候变化特征[J].自然资源学报,2010,25(7):1142-1152
CHEN Shaoyong, ZHANG Kanglin, XING Xiaobin, et al. Climate change of sunshine duration in northwest China during the last 47 years [J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(7): 1142-1152
- [6] 黄小燕,张明军,王圣杰,等.西北地区近 50 年日照时数和风速变化特征[J].自然资源学报,2011,26(5):825-835
HUANG Xiaoyan, ZHANG Mingjun, WANG Shengjie, et al. Characteristics of variation in sunshine duration and wind speed in the last 50 years in Northwest China[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(5): 825-835
- [7] 普宗朝,张山清,宾建华,等.新疆乌-昌地区太阳能资源精细化时空变化分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(6):33-39
PU Zongchao, ZHANG Shanqing, BIN Jianhua, et al. Solar energy resource spatial-temporal variation in Urumqi-Changji region of Xinjiang[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26(6): 33-39
- [8] 孙娟,王娟敏,姜创业,等.陕西省山地日照时间的空间分布特征[J].自然资源学报,2010,25(4):625-635.
SUN Xian, WANG Juanmin, JIANG Chuangye, et al. The spatial distribution of sunshine duration of mountain terrain[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(4): 625-635
- [9] 杜军,边多,胡军,等.西藏近 35 年日照时数的变化特征及其影响因素[J].地理学报,2007,62(5):492-500
DU Jun, BIAN Duo, HU Jun, et al. Climatic change of sunshine duration and its influence factors over Tibet during the last 35 years [J]. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(5): 492-500
- [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,2007
WEI Fengying. Modern climatic statistical diagnosis and prediction technology [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2007
- [11] 白淑英,史建桥,相栋,等.近 50 年青海降水时空格局变化[J].干旱区资源与环境,2013,27(6):148-153
BAI Shuying, SHI Jianqiao, XIANG Dong, et al. Spatio-temporal pattern change of precipitation in Qinghai in the last 50 years[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(6): 148-153
- [12] 张克新,刘普幸,张锐,等.近 54 年来敦煌绿洲日照时数的变化特征分析[J].干旱区资源与环境,2010,24(5):135-140
ZHANG Kexin, LIU Puxing, ZHANG Rui, et al. Analysis of change characteristic of sunshine hour in Dunhuang oasis in recent 54 years [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010, 24(5): 135-140
- [13] Schulz M, Mudelsee M. REDFIT: Estimating red-noise spectra directly from unevenly spaced paleoclimatic time series [J]. Computers & Geosciences, 2002, 28(3): 421-426
- [14] 文小航,尚可政,王式功,等.1961—2000 年中国太阳辐射区域特征的初步研究[J].中国沙漠,2008,28(3):554-560
WEN Xiaohang, SHANG Kezheng, WANG Shigong, et al. Primary study on regional characteristics of solar radiation in China during 1961—2000 [J]. Journal of Desert Research, 2008, 28(3): 554-560
- [15] 章秋英,牛生杰,沈建国,等.半干旱区冬春季黑碳气溶胶吸收特性的观测研究[J].中国沙漠,2009,29(1):183-187
ZHANG Qiuying, NIU Shengjie, SHEN Jianguo, et al. Observational study on aerosol absorption properties in winter and spring in semiarid area [J]. Journal of Desert Research, 2009, 29(1): 183-187
- [16] 伍光和田连恕,胡双熙,等.自然地理学[M].3 版.北京:高等教育出版社,2000
WU Guanghe, TIAN Lianshu, HU Shuangxi, et al. Physical geography [M]. 3rd Ed. Beijing: Higher Education Press, 2000
- [17] 符淙斌,王强.气候突变的定义和检测方法[J].大气科学,1992,16(4):482-493
FU Congbin, WANG Qiang. The definition and detection

- of the abrupt climate change [J]. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1992, 16(4): 482-493
- [18] 张智, 林莉, 孙银川, 等. 银川市日照时数气候变化特征分析 [J]. *干旱区研究*, 2006, 23(2): 344-348
ZHANG Zhi, LIN Li, SUN Yinchuan, et al. Analysis on climate change characteristics of sunshine duration in Yinchuan city [J]. *Arid Zone Research*, 2006, 23(2): 344-348
- [19] 周自江, 王锡稳, 牛若芸. 近47年中国沙尘暴气候特征研究 [J]. *应用气象学报*, 2002, 13(2): 193-200
ZHOU Zijiang, WANG Xiwen, NIU Ruoyun. Climate characteristics of sandstorm in China in recent 47 years [J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2002, 13(2): 193-200

Spatiotemporal variation and abrupt change analysis of sunshine duration in Gansu in the last 50 years

SHI Jianqiao^{1,2} BAI Shuying¹ ZHOU Yin³ WEI Chujing⁴

1 School of Geography & Remote Sensing, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 Unit 61, No. 94783 of PLA, Changxing 313111

3 Unit 61, No. 94857 of PLA, Wuhu 241007

4 Jiashan Meteorological Office of Zhejiang Province, Jiaxing 314100

Abstract Monthly sunshine duration data collected in 26 weather stations in Gansu province from 1961 to 2010 were used to analyze the spatial and temporal variation and abrupt change of sunshine duration by using methods of climate tendency rate analysis, anomaly analysis, Mann-Kendall, spatial analysis, and power spectral analysis. The results showed that in the period from 1961 to 2010, the sunshine duration decreased very slowly with linear trend rate of $-0.29 \text{ h}/(10 \text{ a})$ but there was a pronounced and significant decrease phase from 1997 to 2010 with linear trend rate being $-109.8 \text{ h}/(10 \text{ a})$. Sunshine duration in summer and winter was on the decline, while it showed an increasing trend in spring and autumn. The annual sunshine duration was much less than normal in 1980s but extremely excessive since the 1990s. The results indicated that there were obvious spatial differences of the sunshine duration in Gansu province. The distribution trend of sunshine duration basically showed a gradually increasing situation from southeast to northwest. The results of Mann-Kendall and Yamamoto test indicated that there was no significant mutation for seasonal sunshine duration. Analysis of power spectrum showed that the sunshine duration of Gansu had quasi-periodic oscillation of 2-year and passed the 90% confidence level test.

Key words Gansu; sunshine duration; Mann-Kendall test; power spectrum; spatial-temporal variation