

虞海燕, 刘树华, 赵娜, 等. 2011. 我国近 59 年日照时数变化特征及其与温度、风速、降水的关系 [J]. 气候与环境研究, 16 (3): 389-398. Yu Haiyan, Liu Shuhua, Zhao Na, et al. 2011. Variation characteristics of the sunshine duration and its relationships with temperature, wind speed, and precipitation over recent 59 years in China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 16 (3): 389-398.

我国近 59 年日照时数变化特征及其与 温度、风速、降水的关系

虞海燕^{1,2} 刘树华¹ 赵娜^{1,2} 于永涛² 于丽萍² 曹海维²

1 北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871

2 北京市气象局, 北京 100089

摘要 利用全国 194 个气象站 1951~2009 年日照、温度、风速和降水资料, 将全国按照气候区域划分为 11 个气候区, 采用线性趋势及 Morlet 小波函数分析法, 对全国及各区域近 59 年来日照时数的季节变化和年际变化时间序列进行了分析, 同时还对与日照时数变化密切相关的温度、风速、降水等气象要素进行了年际变化特征比较。结果表明: 全国年日照时数呈显著减少的趋势, 平均每 10 年减少 36.9 h, 各区域变化与全国一致, 只是日照时数减小程度不同; 1981 年全国日照时数由较强期到偏弱期的转折年; 全国年日照时数在 1990 年代中期前有 7~10 a 左右的明显周期振荡; 全国四季日照时数沿海地区减少速度要快于内陆, 南方快于北方。全国年日照时数与温度呈负相关关系, 相关系数为 -0.52; 与风速呈正相关关系, 相关系数为 0.76; 与降水呈负相关关系, 相关系数为 -0.27; 前两者均通过了 99.9% 的信度检验, 后者通过了 95% 的信度检验。

关键词 气候区划 Morlet 小波函数 日照时数 相关系数

文章编号 1006-9585 (2011) 03-0389-10 **中图分类号** P468 **文献标识码** A

Variation Characteristics of the Sunshine Duration and Its Relationships with Temperature, Wind Speed, and Precipitation over Recent 59 Years in China

YU Haiyan^{1,2}, LIU Shuhua¹, ZHAO Na^{1,2}, YU Yongtao², YU Liping², and CAO Haiwei²

1 *Department of Atmospheric Sciences, Peking University, Beijing 100871*

2 *Beijing Meteorological Bureau, Beijing 100089*

Abstract Using the data of sunshine duration, temperature, wind speed, and precipitation from 194 basic/reference stations over China from 1951 to 2009, according to the climatic division, the whole domain of China is classified into 11 climatic regions. The authors studied the changes in annual and seasonal trends of the sunshine duration by using linear trend analysis and Morlet wavelet analysis, and analyzed the characteristics between the sunshine duration and the temperature, the wind speed, and the precipitation. It was found that the annual sunshine duration showed a significant decreasing tendency during the recent 59 years with a decreasing rate of $36.9 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$. The trend variations of the annual sunshine duration in 11 climatic regions were similar with that in the whole nation,

收稿日期 2010-05-16 收到, 2011-03-14 收到修定稿

资助项目 国家重点基础研究发展计划项目 2009CB421402

作者简介 虞海燕, 女, 硕士研究生, 主要从事区域气候变化研究。E-mail: haiyan_2007@hotmail.com

通讯作者 刘树华, E-mail: lshuhua@pku.edu.cn

only had the difference in degree. The sunshine duration of China changed from intensive to weak in 1981. There is an obvious 7–10-year periodic oscillation for the annual sunshine duration of China before the mid 1990s. The sunshine duration of the four seasons had a bigger decreasing amplitude in the coastal areas than in the inland areas, and in the South than in the North. There was a negative correlation between the annual sunshine duration and the temperature (correlation coefficient is -0.52), but a positive correlation between the annual sunshine duration and the wind speed (correlation coefficient is 0.76), and a negative correlation between the annual sunshine duration and the precipitation (correlation coefficient is -0.27). The first two correlation coefficients and the last correlation coefficient passed 99.9% and 95% confidence levels, respectively.

Key words climatic division, Morlet wavelet function, sunshine duration, correlation coefficient

1 引言

日照是气候形成的重要因素,是太阳辐射最直观的表现(沈瑱等,2007;刘艳艳等,2009),也是温度、风速和降水等气象要素的能量来源。因此,研究近几十年来,全球变化和大气污染日趋严重的背景下的日照时数与温度、风速和降水等气象要素的关系受到广泛的关注。另外,探讨日照时数的分布规律,对农业生产布局、城市建设规划、旅游资源开发、太阳能电站设计等具有重要的现实意义(马淑红等,2000;龚宇等,2007;华维等,2009)。因此我国许多学者对日照时数的变化进行了分析研究,任国玉等(2005a)分析了1956~2002年我国日照时数的变化,研究表明全国年日照时数具有明显的下降趋势,变化速率为 $-37.6\text{ h}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,而其日照减少主要发生在中国东南部,减少最明显的地区是华北和华东地区;毛飞等(2006)研究了西藏那曲地区近40年(1961~2000年)日照时数的地理分布及年际、年代际变化规律,发现该地区年、季日照时数均呈减少趋势;买苗等(2006)分析了黄河流域及其周边地区近40年(1960~2000年)逐月日照百分率资料,发现黄河流域中下游地区日照百分率下降非常明显。这些研究中多数只是对某个区域或某些省市地区的日照进行了详细分析,而且分析数据一般截至2002年,而对全国范围内按照地理区域划分进行日照和其它气象要素的相关研究较少。许多研究表明近几十年来,在全球变暖的大背景下,我国气候发生了很大变化,例如区域平均温度上升、华北干旱、东亚夏季风减弱等(Wang, 2001;姜大膀和王会军, 2005;任国

玉等, 2005b; Ding et al., 2007; 曾刚等, 2007; 周连童, 2009)。而日照时数有何变化特征及日照时数与温度、风速、降水等气象要素之间有何关系还很少有研究。本文利用全国194个基本、基准气象站1951~2009年日照、温度、风速和降水资料,将全国按照气候区域划分为11个气候区,采用线性趋势及Morlet小波函数分析法,对全国及各区域近59年来日照时数的季节变化和年际变化时间序列进行了分析,同时还对与日照时数变化密切相关的温度、风速、降水量气象要素进行了年际变化特征比较。研究结果对了解我国各区域在全球气候变化背景和社会经济及城市化发展非平衡情况下,日照时数的变化特征及其与气象要素的相关性等具有重要的科学意义。

2 数据来源与处理方法

2.1 资料说明

本文选用的是全国194个用于国际交换的基本、基准气象站1951~2009年日照、温度、风速和降水量气象记录资料,资料均来源于中国气象局国家气象信息中心气象资料室。

为了消除海拔高度等地理因子的影响,选取1971~2000年共30年作为气候标准值(气候标准值定义为气候要素连续30年的平均值,每10年更新1次),分别将各区域内气象站的逐年、逐月资料处理成为年、季节距平(距平定义为某一系列数据值中的某一个数值与此列数据气候标准值的差,分正距平和负距平)资料,然后对各区域里所有站点的逐年、逐季资料进行算术平均得到每个区域的逐年、逐季距平值,计算各要素年、季距平值主要是在分析过程中可清楚看出各气象

要素偏离其相应气候标准值的程度。季节依照常规划分为春季（3~5 月）、夏季（6~8 月）、秋季（9~11 月）、冬季（12 月至次年 2 月）。为反映各要素的变化总趋势，对各季节及年要素距平序列进行连续的小波变换及直线拟合，拟合直线斜率的 10 倍作为日照倾向率，来代表每 10 a 该要素的变化值（邵晓梅等，2006）。

小波分析方法可以对时间序列信号进行多层次、多尺度下的时间、频率分析，同时小波分析还具有数学意义上严格的突变点的诊断能力，这对研究气候变化在不同时间尺度下的结构与规律十分有用（Torrence and Compo, 1997；尤为红，1998；飞思科技研发中心，2003；董长虹，2004），所以，近年来被广泛应用于气候的多尺度分析研究。

2.2 区域划分

为了详细研究中国不同地区的气候变化特征，参考《中国气象地理区划手册》的标准（中国气象局国家气象中心，2006），将中国大陆划分为 11 个区域：1）西北地区（NW），包括陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆五省（区）；2）华北地区（N），包括山西、河北二省，北京、天津二市和河南、山东两省黄河以北地区；3）内蒙古地区（NM），包括内蒙古自治区；4）东北地区（NE），包括辽宁、吉林和黑龙江三省；5）黄淮地区（HH），包括黄河至淮河间所含的河南、山东、安徽、江苏四省地区；6）江淮地区（JH），包括淮河至长江间所含河南、湖北、安徽、江苏四省地区；7）江南地区（JN），包括长江至南岭间所含的湖北、湖南、江西、浙江、安徽、江苏、上海和福建北部（从南岭向东延伸）等地；8）江汉地区（JH），包括江淮、黄淮以西的河南、湖北其余地区；9）华南地区（S），包括广东、广西、海南、台湾四省（区）和福建南部等地；10）西南地区（SW），包括四川、重庆、贵州、云南四省（市）；11）西藏地区（XZ），为西藏自治区。

3 结果分析

3.1 全国及各区域年日照时数的变化特征

3.1.1 全国年日照时数的变化特征

近 59 年全国平均年日照时数具有明显的下降

趋势，其变化速率为 $-36.9 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ，通过 99.9% 的信度检验（见表 1），这与任国玉等（2005a）分析的我国日照时数变化速率为 $-37.6 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 结果相近。从图 1 中可看到，日照时数从 20 世纪 50 年代初期开始上升，分别在 50 年代中期和 60 年代中期形成两个波峰，尤以 1963 年（日照距平值 218 h）和 1965 年（日照距平值 205 h）最高，随后到 90 年代初，日照时数距平几乎呈线性下降，1993 年距平值达到 90 年代最低值（为 -95 h ），距平最高与最低相差达到 313 h，而 1963~1993 年日照距平变化速率为 $-80.2 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ，比 59 a 日照距平变化速率 2 倍还多。90 年代中期日照时数略有回升，2000 年代中期又开始下降。总体分析，2000 年代是所有年代中距平值最小的年代，距平值为 -65 h ，60 年代距平值为 130 h，所有年代中最高。从 5 年滑动平均曲线明显能够看出，1981 年是正负距平的分界点，之前距平值几乎都为正值，曲线在 0 线上方，之后距平转为负值，曲线在 0 线下方波动。

表 1 全国及各地区年日照时数变化趋势
Table 1 Variation trends of the annual sunshine duration in the whole nation and different regions of China $\text{h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$

地区名称	倾向率	地区名称	倾向率	地区名称	倾向率
全国	-36.9***	华北地区	-77.1***	江南地区	-38.5***
内蒙地区	-9.3	江汉地区	-75.3***	华南地区	-71.8***
东北地区	-32.6***	西北地区	-8.2	黄淮地区	-92.2***
西藏地区	-17.2*	江淮地区	-73.0***	西南地区	-39.2***

注：*** 为 0.001 显著性水平，极显著；* 为 0.05 显著性水平，弱显著。

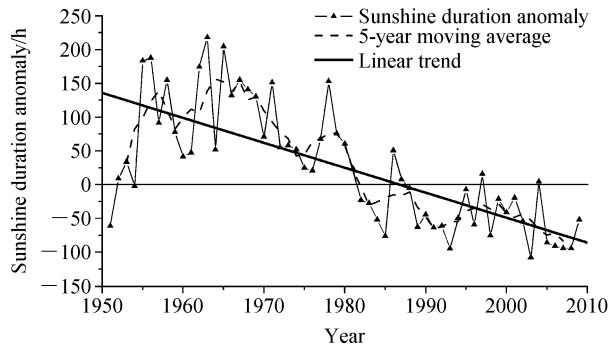


图 1 全国年日照时数距平变化
Fig. 1 Variation of annual sunshine duration anomalies over China

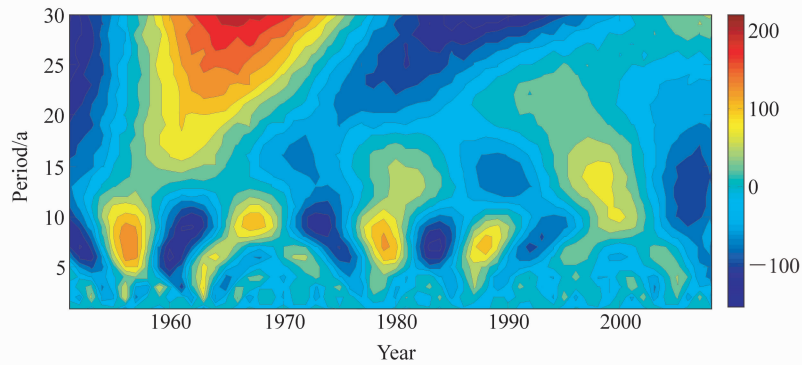


图2 全国年日照时数距平小波变换

Fig. 2 Wavelet transform of annual sunshine duration anomalies over China

以 1951~2009 年全国平均日照时数距平为时间序列函数, 并对其进行小波变换 (见图 2)。在低频区, 较大尺度 30 a 左右的周期振荡非常明显, 且最大正负值中心出现在此区域, 说明较长时间尺度的波动频率虽然低, 但强度大 (刘德等, 2003; 毛飞等, 2006)。12~15 a 左右的周期振荡从 70 年代中期至今表现得较为明显, 7~10 a 左右的周期振荡从 50 年代中期到 90 年代中期变化明显。

3.1.2 各区域年日照时数的变化特征

从表 1 各地区年平均日照时数倾向率分析, 整体变化与全国日照变化一致, 均呈下降趋势, 按照各地区下降幅度大小不同, 大致分为 4 种类型: I 型, 日照时数下降最明显型, 即黄淮地区, 下降幅度为 $-92.2 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 且通过 99.9% 的信度检验, 即平均每年日照时数减少 9 h, 黄淮地区日照时数距平从 60 年代 219 h, 下降到 2000 年代 -272 h , 共减少约 491 h。年际间变化转折期与全国一样, 1981 年以前距平几乎为正, 之后距平几乎为负。从 5 年滑动曲线看, 70 年代中期以前, 日照时数具有 12 a 左右的周期振荡, 之后具有 8~10 a 左右的周期振荡。II 型, 日照时数下降明显型, 包括华北、江汉、江淮和华南地区, 日照时数变化率分别是 -77.1 、 -75.3 、 -73.0 、 $-71.8 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 且都通过了 99.9% 的信度检验, 说明减少趋势是极显著的。以华北地区为例, 59 a 间波动较小, 从 50 年代初到 70 年代末距平值在 138 h 左右变化; 80 年代初期日照明显减少, 随后从 80 年代中期到 90 年代末期为相对

稳定时期, 即在 -47 h 左右变化; 2000 年代初期至今, 日照急剧减少。III 型, 日照时数下降较为明显型, 包括西南、江南和东北地区, 日照变化率分别为 -39.2 、 -38.5 、 $-32.6 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 且通过了 99.9% 的信度检验, 说明减少趋势是极显著的。以西南地区为例, 其日照变化大体分 3 个阶段, 70 年代初期以前, 日照时数呈缓慢上升趋势, 距平值为正; 70 年代初期到 90 年代初期, 日照急剧下降, 变化速率高达 $-93.5 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$; 90 年代初期以后日照距平小幅回升, 但整体距平值仍为负。IV 型, 日照距平变化最不明显型, 包括西藏、内蒙和西北地区, 日照变化率分别是 -17.2 、 -9.3 、 $-8.2 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 除西藏日照变化率通过了 95% 的信度检验, 另两个地区均没通过信度检验, 说明 3 个地区日照减少趋势是弱显著和不显著。其中西藏地区曲线变化比较特殊, 尤其 2000 年代至今, 日照时数急剧上升。

3.2 日照时数四季变化特点

3.2.1 全国日照时数四季变化特点

由图 3 可见, 各季日照时数均呈下降趋势, 且存在明显的年际变化。春季日照变化幅度为 $-4.5 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 通过了置信度 95% 的显著检验。其变化趋势大致可分为 3 个阶段, 第一阶段从 50 年代初到 70 年代中期, 日照时数呈上升趋势; 第二阶段从 70 年代中期到 90 年代初期, 日照明显减少; 第三阶段从 90 年代初期至 2009 年, 日照呈小幅回升趋势 (图 3a)。夏季日照变化幅度为 $-14.2 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 通过了 99.9% 的信度检

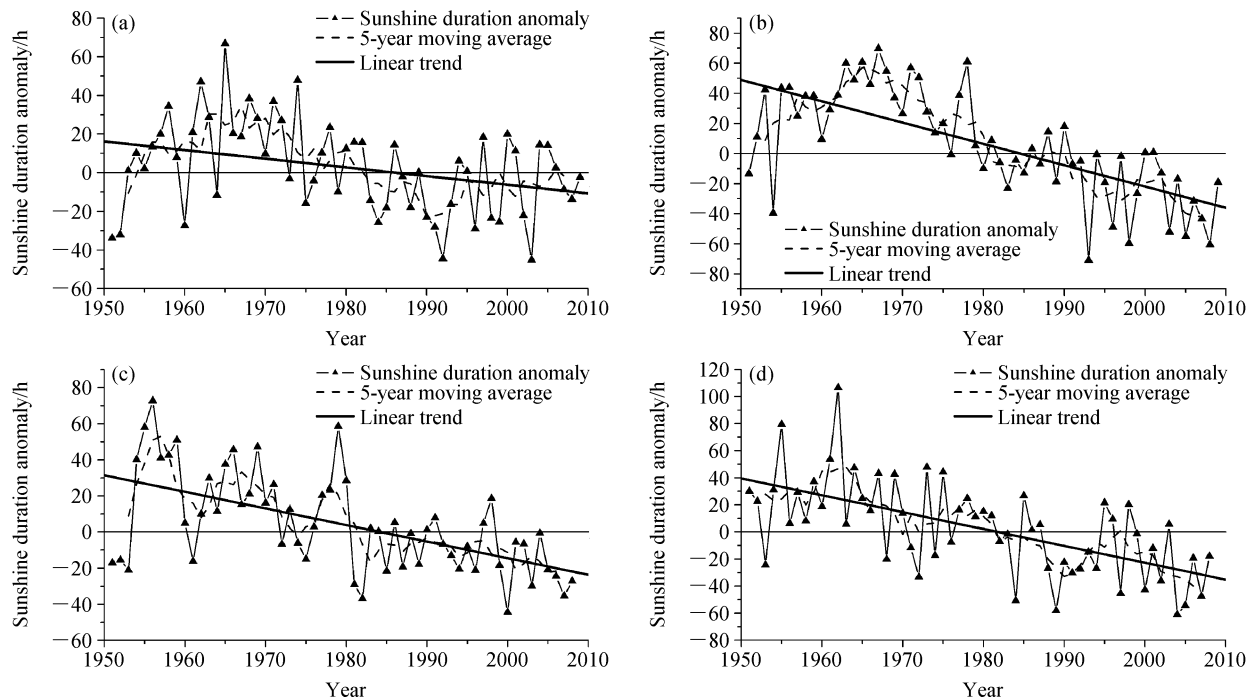


图 3 全国四季日照时数距平变化: (a) 春季; (b) 夏季; (c) 秋季; (d) 冬季

Fig. 3 Variations of the seasonal sunshine duration anomalies in China: (a) Spring; (b) summer; (c) autumn; (d) winter

验, 对全国年日照变化贡献最大, 变化趋势总体经历了少—多—少的抛物线型, 60 年代中期日照达到峰值 (见图 3b)。秋季日照变化幅度为 $-9.2 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 通过了 99.9% 的信度检验。其日照变化分两个阶段, 80 年代初期以前, 日照波动剧烈, 分别在 50 年代中后期、60 年代中期和 70 年代中后期处于波峰, 随后 80 年代中期至 2009 年日照距平以负值为主, 曲线在负值区波动很小, 几乎没有变化 (图 3c)。冬季日照变化幅度为 $-12.5 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 通过了 99.9% 的信度检验, 仅次于夏季变化, 日照从 60 年代初期到 90 年代初期总体呈下降趋势, 其间在 70 年代末期有小幅回升; 90 年代初期到 90 年代中后期日照呈增加趋势, 但整体距平以负值为主, 随后至 2009 年又呈明显的下降趋势 (图 3d)。

四季日照时数变化中春季与其它季节的最大不同点是: 近 10 多年来, 春季日照时数略有回升趋势, 而其它季节日照仍在继续下降。四季都有明显的由日照较强期向日照偏弱期转折的年份, 而这个转折年代主要集中在 1980~1982 年之间, 这与全国年日照转折年相同。

由图 4a 可见, 春季日照在 28~30 a 较大时间

尺度上经历了少—多—少—多的交替; 在 5~7 a 的时间尺度上, 50 年代及从 80 年代至 90 年代中期这两个时期周期振荡比较明显; 在 2~4 a 的小尺度上, 则有更多日照偏多和偏少期的循环交替。从图 4b 可见, 夏季日照 22~24 a 的周期振荡从 70 年代中期至 2009 年非常明显; 在 7~10 a 的时间尺度上, 从 50 年代初期至 2009 年均出现较明显的周期振荡, 而且从 80 年代开始等值线比较密, 尤其 2000 年代, 表明最近几年日照时数发生强烈震动; 2005~2009 年, 从高频到低频均为负值, 日照时数减少明显。由图 4c 可见, 秋季日照在 8~10 a 的尺度上, 从 50 年代初期至 80 年代中期周期振荡明显, 而且等值线比较密集, 说明此时段内日照震动强烈; 从 50 年代中期到 60 年代初期, 从高频到低频均为正值, 日照时数增加明显。由图 4d 可见, 冬季日照在 14~16 a 尺度上, 从 60 年代至 2009 年周期振荡非常明显, 尤其从 70 年代中期至 2000 年代中期等值线比较密, 日照变化剧烈。

3.2.2 各区域日照时数四季变化特点

在 11 个区域中 (见表 2), 内蒙、西藏和西北属于中国最北部和西部的地区, 能通过信度检验

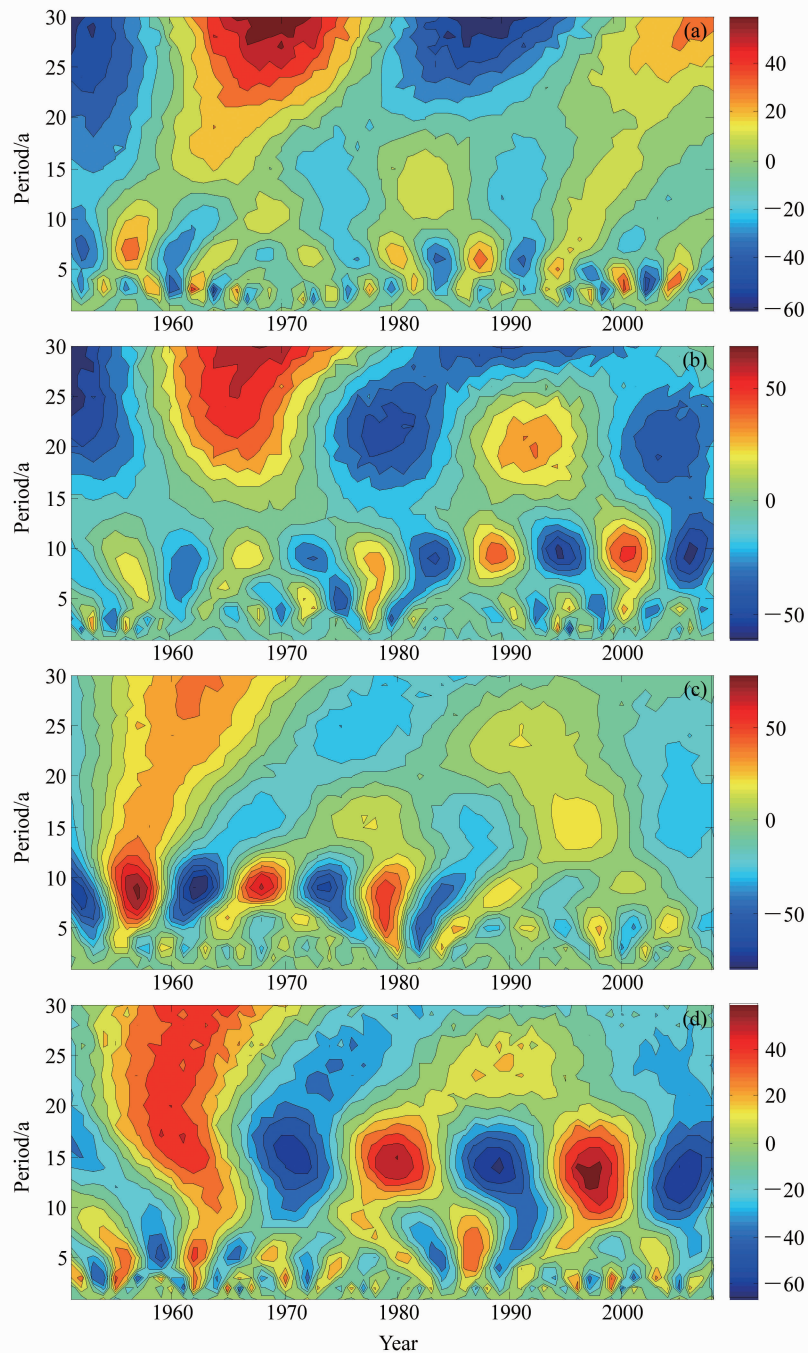


图4 全国四季日照时数距平小波变换: (a) 春季; (b) 夏季; (c) 秋季; (d) 冬季

Fig. 4 Wavelet transforms of the seasonal sunshine duration anomalies over China: (a) Spring; (b) summer; (c) autumn; (d) winter

的季节最少,说明日照时数的减少在这3个地区中是不显著的。东北、华北、华南和西南地区四季至少都能通过95%的信度检验,有的季节甚至能通过99.9%的信度检验;余下的江汉、江淮、江南和黄淮地区除春季没通过信度检验,其它3个季节均通过不同程度的信度检验,尤其后两个

地区通过了99.9%的信度检验。

从图5中更能明显看出,我国沿海地区日照时数减少速度要快于内陆,南方快于北方,尤其长江至黄河间所含的江汉、黄淮和江淮地区;华南地区是所有区域中四季日照时数减少比较均衡的地区,且均通过了信度检验。

表 2 全国和各地区四季日照时数变化速率
Table 2 The variation trends of seasonal sunshine duration in the whole nation and different regions of China $\text{h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$

地区名称	春季	夏季	秋季	冬季	地区名称	春季	夏季	秋季	冬季
全国	-4.5*	-14.2***	-9.2***	-12.5***	西北地区	4.6	-2.7	-3.0	-9.0***
内蒙地区	-1.2	-1.4*	-3.2	-7.6***	江淮地区	-3.3	-39.2***	-15.7***	-17.1**
东北地区	-9.4***	-9.6*	-3.9***	-9.3***	江南地区	-6.4	-25.4***	-17.4***	-20.7***
西藏地区	2.2	-3.8	-8.3**	-2.5	华南地区	-15.1***	-17.8***	-17.1***	-12.3*
华北地区	-9.0*	-26.2***	-19.5***	-23.7***	黄淮地区	-8.3	-39.9***	-21.9***	-25.1***
江汉地区	-4.2	-36.6***	-17.9**	-18.9**	西南地区	-7.0**	-13.4***	-7.2**	-6.8**

注：*** 为 0.001 显著性水平，极显著；** 为 0.01 显著性水平，显著；* 为 0.05 显著性水平，弱显著。

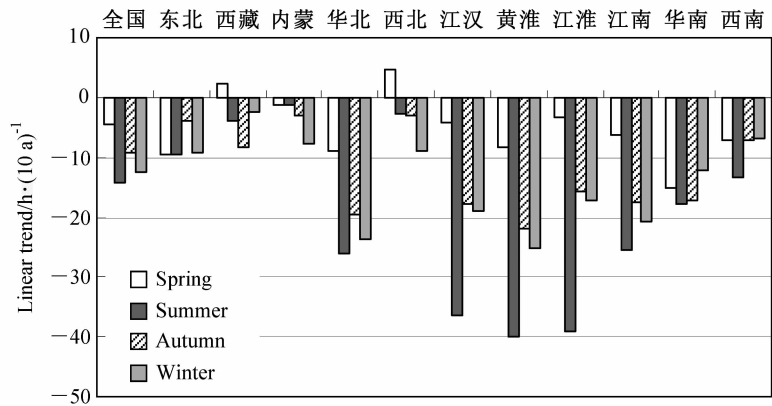


图 5 全国及各地区四季日照时数距平变化趋势
Fig. 5 Linear trends of four seasons' sunshine duration anomalies in the whole nation and different regions of China

3.3 年日照时数与温度、风速、降水量气象要素关系

对 59 a 日照、温度、风速和降水距平值变化进行相关分析，结果表明：日照与温度呈负相关关系，相关系数为-0.52，通过了 99.9%的信度检验；日照与风速呈正相关关系，相关系数为 0.76，通过了 99.9%的信度检验，日照与降水呈负相关关系，相关系数为-0.27，通过了 95%的信度检验。

尽管我国年平均气温不断升高，日照时数却在不断减少。一般研究认为，日照时数主要受云量影响较大，而近些年云量的增多以及人为排放的气溶胶浓度明显增加（罗云峰等，2002；王喜红和石广玉，2002），都将使得大气对太阳光的反射及吸收作用增强，进而减少到达地面的太阳辐射，从而造成日照时数减少（张智等，2006；沈瑛等，2007）。前面分析表明，我国日照时数减少

最多的区域主要在人口稠密、经济活动频繁的黄淮、华北和江淮等东部地区（见表 1），说明人类活动引起的气溶胶（特别是硫酸盐气溶胶和黑碳气溶胶）增多可能是主要因素。另外，1955～2005 年我国华北的雾日和低层云量呈增多趋势，这可能是大气低层气溶胶浓度增加的另一种表现形式（任国玉等，2005a）。

由图 6 可看出，日照时数和风速在 70～90 年代间减小速度最快；平均温度在 90 年代至 2009 年升温最快，其次是 70～90 年代间；年降水量总体趋势不明显，50 年代降水量相对最多。日照时数正负距平转折年代大概在 80 年代初期，平均温度由冷期到暖期的转变比日照晚一些，即在 80 年代中后期，风速的转折时期比日照晚 2 a 左右，降水没有明显转折期。总体而言，日照与风速关系很好，风速减小相应日照时数递减显著，风速变化不大，日照时数递减也不明显。这说明，

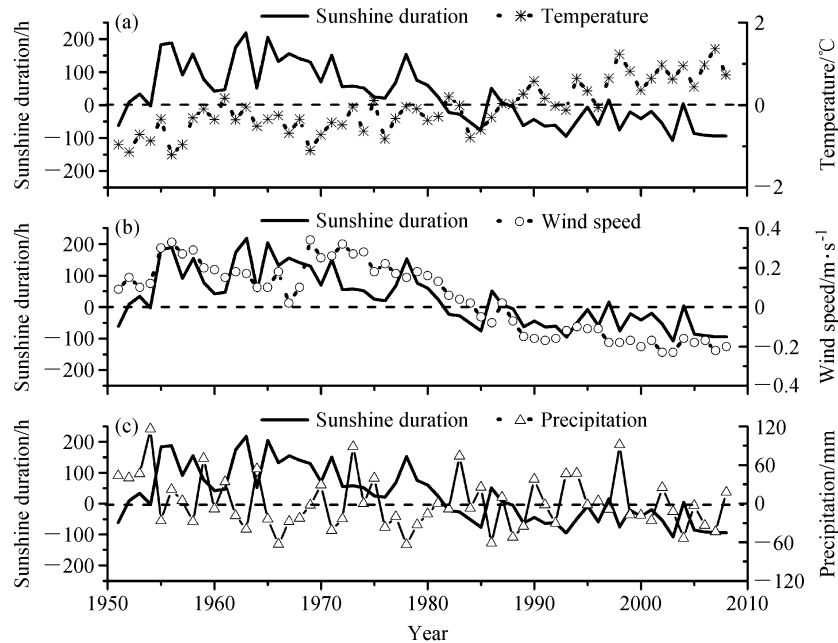


图6 全国年日照时数距平与 (a) 温度距平、(b) 风速距平和 (c) 降水距平的对比

Fig. 6 Comparisons between the anomalies of the sunshine duration and (a) the temperature, (b) the wind speed, and (c) the precipitation

由于风速逐年减小,水汽和空气中的污染物不易扩散,使近地层气溶胶浓度增大,空气透明度下降,特别是日出后和日落前,太阳高度角较低,太阳光线穿过大气的距离较长,太阳光线衰减严重,到达地面的太阳光线不足以使日照记录纸感光,是造成上、下午日照时数严重减少的主要原因(贾金明等,2007)。

从图6还可看出,日照时数和降水年际间变化较大,平均温度年际间变化较小。在与温度、风速、降水量气象要素对比中,日照时数与风速的关系最密切,与降水量的关系相对最弱。降水与日照呈负相关关系,基本符合降水量增加时日照减少的一般规律,即年降水量大的年份日照时数就小,年降水量小的年份日照时数相对较大。

4 结论

(1) 全国11个地区年日照时数的地区分布既受太阳辐射的影响,又受地形等地理环境的影响,总体变化趋势从西往东、从内陆到北部沿海地区,日照递减速率逐渐增大。

(2) 多数地区与全国平均年日照时数一样,在1981年前后存在突变,1951~1980年的日照时

数距平以正值为主,1981年以后日照距平以负值为主。

(3) 在我国四季日照时数变化中,夏、秋、冬季日照时数的减少都是极显著的,春季为弱显著减少;其中夏、冬季日照减少最快,其次是秋季,春季减少最慢。

(4) 全国日照时数的小波分析表明,不同时间尺度所对应的日照结构是不同的,小尺度的多少变化表现为嵌套在较大尺度下的较为复杂的多少结构。年日照时数在12~15 a左右时间尺度的周期振荡上比较明显。在四季日照小波变换中,在30 a以上的大尺度变换上,春、夏季周期明显;在10~15 a的中长尺度上,秋、冬季周期振荡明显;而5年以下的小尺度上,春季最明显。

(5) 59 a来全国温度由偏冷到偏暖,日照和风速由偏强到偏弱期的转折年代分别是1986年、1981年和1984年,即三要素的重大变化主要发生在80年代,且日照最先转变,其次是风速和温度,三者的这种变化关系是否有必然联系还需进一步深入研究。

参考文献 (References)

董长虹. 2004. MATLAB小波分析工具箱原理与应用 [M]. 北

- 京: 国防工业出版社, 1-29. Dong Changhong. 2004. The Principle and Application of MATLAB Wavelet Analysis Tool [M] (in Chinese). Beijing: National Defense Industry Press, 1-29.
- Ding Yihui, Ren Guoyu, Zhao Ci, et al. 2007. Causes and projection of climate change over China: An overview of recent progress [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 24 (6): 954-971.
- 飞思科技研发中心. 2003. MATLAB6.5 辅助小波分析与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1-60. Feisi Scientific Centre. 2003. The Analysis and Application of MATLAB6.5 Auxiliary Wavelet [M] (in Chinese). Beijing: Electronic Industry Press, 1-60.
- 龚宇, 邢开成, 王璞. 2007. 近 30 年来沧州地区日照时数与风速变化特征 [J]. *中国农业气象*, 28 (3): 263-267. Gong Yu, Xing Kaicheng, Wang Pu. 2007. Characteristics of changes on sunshine hours and wind speed in last 30 years in Cangzhou [J]. *Chinese Journal of Agrometeorology* (in Chinese), 28 (3): 263-267.
- 华维, 范广洲, 周定文, 等. 2009. 青藏高原四季日照时数年际、年代际变化趋势分析 [J]. *自然资源学报*, 24 (10): 1810-1817. Hua Wei, Fan Guangzhou, Zhou Dingwen, et al. 2009. Analysis on the variation trend of interannual and interdecadal seasonal sunshine duration over Tibetan Plateau [J]. *Journal of Natural Resources* (in Chinese), 24 (10): 1810-1817.
- 贾金明, 吴建河, 徐巧真, 等. 2007. 河南日照变化特征及成因分析 [J]. *气象科技*, 35 (5): 655-660. Jia Jinming, Wu Jianhe, Xu Qiaozhen, et al. 2007. Features of sunshine duration variation and its cause analysis [J]. *Meteorological Science and Technology* (in Chinese), 35 (5): 655-660.
- 姜大膀, 王会军. 2005. 20 世纪后期东亚夏季风年代际减弱的自然属性 [J]. *科学通报*, 50 (20): 2256-2262. Jiang Dabang, Wang Huijun. 2005. The natural quality of East Asian summer monsoon weakening after the end of 2000's [J]. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 50 (20): 2256-2262.
- 刘德, 李永华, 何卷雄. 2003. 重庆市夏季气温及降水变化的小波分析 [J]. *高原气象*, 22 (2): 173-178. Liu De, Li Yonghua, He Juanxiong. 2003. Wavelet analysis of variations of summer temperature and precipitation in Chongqing [J]. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 22 (2): 173-178.
- 刘艳艳, 张勃, 张耀宗, 等. 2009. 黑河流域近 46 年日照时数的气候变化特征及其影响因素 [J]. *干旱区资源与环境*, 23 (6): 72-77. Liu Yanyan, Zhang Bo, Zhang Yaorong, et al. 2009. Climatic change of sunshine duration and its influencing factors over Heihe River basin during the last 46 years [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment* (in Chinese), 23 (6): 72-77.
- 罗云峰, 吕达仁, 周秀骥, 等. 2002. 30 年来我国大气气溶胶光学厚度平均分布特征分析 [J]. *大气科学*, 26 (6): 721-730. Luo Yunfeng, Lü Daren, Zhou Xiujie, et al. 2002. Analyses on the spatial distribution of aerosol optical depth over China in recent 30 years [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 26 (6): 721-730.
- 马淑红, 雄建国, 杨新才, 等. 2000. 太阳能电站日照时数推算 [J]. *气象*, 26 (2): 45-49. Ma Shuhong, Xiong Jianguo, Yang Xincan, et al. 2000. A calculation of sunshine duration at the solar energy power station in Tarim basin [J]. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 26 (2): 45-49.
- 买苗, 曾燕, 邱新法, 等. 2006. 黄河流域近 40 年日照百分率的气候变化特征 [J]. *气象*, 32 (5): 62-66. Mai Miao, Zeng Yan, Qiu Xinfu, et al. 2006. Yellow River basin sunshine percentage climate change climate tendency [J]. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 32 (5): 62-66.
- 毛飞, 卢志光, 郑凌云, 等. 2006. 近 40 年那曲地区日照时数风速变化特征 [J]. *气象*, 32 (9): 77-83. Mao Fei, Lu Zhiguang, Zheng Lingyun, et al. 2006. Variation characteristics of sunshine duration and wind velocity in Naqu, Xizang for recent 40 years [J]. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 32 (9): 77-83.
- 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 2005a. 近 50 年中国地面气候变化基本特征 [J]. *气象学报*, 63 (6): 942-956. Ren Guoyu, Guo Jun, Xu Mingzhi, et al. 2005a. Climate changes of China's mainland over the past half century [J]. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 63 (6): 942-956.
- 任国玉, 徐铭志, 初子莹, 等. 2005b. 近 54 年中国地面气温变化 [J]. *气候与环境研究*, 10 (6): 717-727. Ren Guoyu, Xu Mingzhi, Chu Ziyang, et al. 2005b. Changes of surface air temperature in China during 1951-2004 [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 10 (6): 717-727.
- 沈瑛, 曾燕, 肖卉, 等. 2007. 江苏省日照时数的气候特征分析 [J]. *气象科学*, 27 (4): 425-429. Shen Zhen, Zeng Yan, Xiao Hui, et al. 2007. Changes of sunshine hours in the recent 40 years over Jiangsu Province [J]. *Scientia Meteorologica Sinica* (in Chinese), 27 (4): 425-429.
- 邵晓梅, 许月卿, 严昌荣. 2006. 黄河流域降水序列变化的小波分析 [J]. *北京大学学报 (自然科学版)*, 42 (4): 503-509. Shao Xiaomei, Xu Yueqing, Yan Changrong, et al. 2006. Wavelet analysis of rainfall variation in the Yellow River basin [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis* (in Chinese), 42 (4): 503-509.
- Torrence C, Compo G P. 1997. A practical guide to wavelet analysis [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79 (1): 61-78.
- 王喜红, 石广玉. 2002. 东亚地区云和地表反照率对硫酸盐直接辐射强迫的影响 [J]. *气象学报*, 60 (6): 758-765. Wang Xihong, Shi Guangyu. 2002. Effect of cloud and surface albedo on direct sulfate radioactive forcing over East Asia [J]. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 60 (6): 758-765.
- Wang Huijun. 2001. The weakening of the Asian monsoon circulation after the end of 1970's [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 18 (3): 376-386.
- 尤为红. 1998. 气候变化的多尺度诊断分析和预测的多种技术方法

- 研究 [M]. 北京: 气象出版社, 26-30. You Weihong. 1998. Multi-scale Analyses of Climate Change and Research on Multi-method [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 26-30.
- 张智, 林莉, 孙银川, 等. 2006. 银川市日照时数气候变化特征分析 [J]. 干旱区研究, 23 (2): 344-348. Zhang Zhi, Lin Li, Sun Yinchuan, et al. 2006. Analysis on climate change characteristics of sunshine duration in Yinchuan city [J]. Arid Zone Research (in Chinese), 23 (2): 344-348.
- 曾刚, 孙照渤, 王维强, 等. 2007. 东亚夏季风年代际变化——基于全球观测海表温度驱动 NCAR Cam3 的模拟分析 [J]. 气候与环境研究, 12 (2): 211-224. Zeng Gang, Sun Zhaobo, Wang Weichyung, et al. 2007. Interdecadal variation of East Asian summer—Monsoon simulated by NCAR Cam3 driven by global SSTs [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 12 (2): 211-224.
- 中国气象局国家气象中心. 2006. 中国气象地理区划手册 [M]. 北京: 气象出版社, 1-59. National Meteorological Center of CMA. 2006. A Manual of Meteorological Geography Regionalization of China [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1-59.
- 周连童. 2009. 引起华北地区夏季出现持续干旱的环流异常型 [J]. 气候与环境研究, 14 (2): 120-130. Zhou Liantong. 2009. Circulation anomalies pattern causing the persistent drought in North China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 14 (2): 120-130.