

李慧群, 付遵涛, 闻新宇, 等. 2013. 中国地区日照时数近 50 年来的变化特征 [J]. 气候与环境研究, 18 (2): 203–209, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11052. Li Huiqun, Fu Zuntao, Wen Xinyu, et al. 2013. Characteristic analysis of sunshine duration change in China during the last 50 years [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 18 (2): 203–209.

中国地区日照时数近 50 年来的变化特征

李慧群 付遵涛 闻新宇 黄建斌

北京大学物理学院大气与海洋科学系、气候与海—气实验室, 北京 100871

摘要 根据国家气象信息中心给出的逐日日照时数资料, 利用经验正交函数分解 (EOF) 和 Mann-Kendall 方法分析了 1956~2005 年中国地区日照时数的变化趋势、突变情况、时空分布和季节变化特征。研究表明: 中国绝大部分地区近 50 年来日照时数总量呈减少的趋势, 在 1980 年前后大部分观测站显示有突变, 20 世纪 90 年代之后减少趋势有所缓解, 保持在稳定偏低的状态; 此类变化趋势在东南地区较西北地区更为显著。且日照时数的上述变化主要由于夏季日照的变化造成的。

关键词 日照时数 气候突变 经验正交函数分解 Mann-Kendall 法

文章编号 1006-9585 (2013) 02-0203-07

中图分类号 P467

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11052

Characteristic Analysis of Sunshine Duration Change in China during the Last 50 Years

LI Huiqun, FU Zuntao, WEN Xinyu, and HUANG Jianbin

Department of Atmospheric and Oceanic Sciences and Laboratory for Climate and Ocean-Atmosphere Studies, School of Physics, Peking University, Beijing 100871

Abstract The sunshine duration daily data for 1956–2005, which was made available by the National Meteorological Information Center, is used to calculate sunshine duration trends, abrupt changes, temporal and spatial distribution, and seasonal variation through empirical orthogonal function (EOF) and Mann-Kendall analyses. The results show that: (1) Significant decreases in sunshine duration occurred over much of China during the latter half of the 20th century. The decreasing trend halted until the 1990s, after which time it was maintained at a low state. (2) Most of the meteorological stations happened abrupt climate change in 1980. (3) This change was significant, particularly in the eastern half of the country. (4) The change in summer sunshine duration is a major contributor to this decrease.

Keywords Sunshine duration, Climate shift, EOF, Mann-Kendall

1 引言

研究表明, 近百年来地球气候正经历一次以全球变暖为主要特征的显著变化, 但在总的变暖趋势中却有起有伏, 有渐变和突变, 且气候变化的区域

性和季节性差异显著 (章名立等, 1996)。气候变化会引起大气物理结构和化学结构发生变化, 进而影响到达地面的太阳辐射的变化。太阳辐射的变化又会引起地表气候、水循环、冰川、生态系统等的变化 (Wild et al., 2005; Pinker et al., 2005)。

地面气象观测中日照时数是指太阳在一地实

收稿日期 2011-04-06 收到, 2013-01-30 收到修定稿

资助项目 国家重点基础研究发展规划项目 2010CB428606

作者简介 李慧群, 女, 1985 年出生, 博士研究生, 主要从事气候变化研究。E-mail: echo9975@gmail.com

通讯作者 付遵涛, E-mail: fuzt@pku.edu.cn

际照射的时数,是一定时间内,太阳直接辐照度达到或者超过 120 W m^{-2} 的时间总和,是反映气候变化的重要气象要素之一。(Wild et al., 2007; Wild, 2009) 等总结了近 50 年来地球经历的从“变暗”到“变亮”的过程及其原因,发现从 1980 年代末至 1990 年代初,全球许多地区的地面太阳辐射停止了自 1950 年代以来的下降趋势,开始增加,并分析了这个过程的原因和对全球变暖的影响。同时,研究也表明中国地区 1961~2000 年太阳总辐射与全球总辐射的变化一致,整体呈下降趋势,但从 1980 年代末开始中国地区的总辐射停止了下降,并呈现明显的上升趋势,到 2000 年还没有恢复到近 50 年的平均水平,同时,1961~2000 年全国平均年日照百分率也显著下降,日照时数减少可能是总辐射减少的主要原因 (Che et al., 2005; 王雅婕等, 2009)。Liang and Xia (2005) 利用中国 42 个观测站的辐射资料得到我国大部分观测站辐射的变化情况,并分析气溶胶的增加可能是辐射减少的主要原因。Kaiser and Qian (2002) 通过分析我国东南地区气溶胶消光系数的增加,推测我国日照时数的减少可能是由于霾等人类活动引起的大气气溶胶含量的增加引起的。其他一些相关研究也表明 20 世纪 90 年代以来中国大部分地区的太阳辐射、日照时数整体在减少,并且认为这种减少趋势可能和能见度、气溶胶、云量的变化有关。不同的研究揭示了中国不同地区太阳辐射的变化幅度和变化时间存在明显差异 (罗

云峰等, 2000; 周长艳等, 2008; 许建明等, 2010)。

本文系统分析了中国地区日照时数的时空变化特征,并研究了其季节分布特征,揭示了更为全面的日照时数的时空变化特征,并检验了部分台站的统计显著的时间突变点,从而有利于更全面地了解气候变化。

2 资料和分析方法

本文采用的资料来源于中国国家气象信息中心 753 个观测站的逐日日照时数数据集,精度到 0.1 h。大部分台站属于国家基准气候站和基本气象站。中国近地面气候观测从 1950 年以后才具有比较好的空间覆盖和时间连续性,本文选取了 1956~2005 年的日观测资料,并剔除连续缺测超过 30 天的观测站,剔除总缺测数多于 50 天的观测站,得到 309 个数据质量较高的观测站作为下文分析的基础。所选观测站分布如图 1 所示。

本文采用的分析方法主要有经验正交函数分解 (Empirical Orthogonal Function, EOF) 和 Mann-Kendall 突变点检测法 (魏凤英, 2007)。经验正交函数也称为主分量分析,将原变量场分解为正交函数的线性组合,构成若干彼此正交的典型模态,代替原始变量场。在气候变量场上,将 m 个空间点 n 次观测构成的变量 $\mathbf{X}_{m \times n}$,看做是 p 个空间特征向量和对应的权重系数的线性组合:

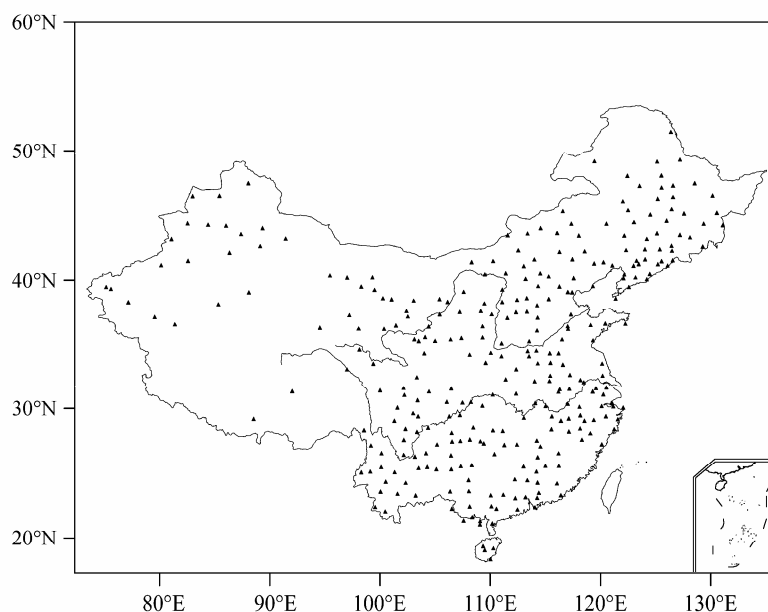


图 1 日照时数观测站分布图

Fig. 1 Distribution of meteorological stations

$X_{m \times n} = V_{m \times p} T_{p \times n}$ ，称 T 为时间系数， V 为空间特征向量。这一过程将变量场的主要信息集中由几个典型特征向量表现出来。另外，本文采用非参数统计检验方法——Mann-Kendall 法检测序列的突变点。

3 中国地区日照时数的变化特征

3.1 中国地区日照总体分布特征

图 2 显示我国日照时数分布具有明显的区域特征。四川盆地是一个明显的低值中心，其次，东北小兴安岭长白山一带和塔里木盆地是比较突出的低值中心。新疆东部和内蒙古是一个比较明显的高值区。关于四川盆地的低值，研究表明该区域气温也是一个异常中心。并且这与罗云峰等（2002）所做的利用我国直接辐射和日照时数反演得到的气溶胶光学厚度（AOD）空间分布一致。

从图 3 中四季日照分布情况图明显看出，夏季的日照时数反映日照时数的整体纬向分布特征最显著，冬季反映日照的局地特征最显著。夏季太阳直射点在北回归线附近，不考虑地形因素和气候背景因素，理论上我国从北向南日照时数递减，夏季日照时数值较其它季节整体偏高，就递减梯度上来说，夏季梯度最大。因此，夏季的日照时数反映日照时数的整体纬向分布特征最明显。反之，冬季太阳直射南回归线，我国理论上应当从南往北递减，但梯度很小，因此冬季反映日照的局地特征最显著，说明从区域特征上来看，四川盆地、我国西北边隅和东北边隅是三个明显的局地中心。我国主要

处于北回归线以北，总体纬向分布特征是从北向南递减。

3.2 日照时数 1956~2005 年的时空变化特征

从图 4a 日照时数随时间变化规律可见，近 50 年来日照时数呈现减少的趋势，减少趋势为 $0.136 \text{ h} (10 \text{ a})^{-1}$ ，这种趋势通过 99% 的信度检验。尤其在 20 世纪 60 至 90 年代，减少趋势达 $0.168 \text{ h} (10 \text{ a})^{-1}$ ，该趋势通过 99% 的信度检验。20 世纪 90 年代以后减少趋势减缓，之后维持在一个较低水平，这段时间趋势不明显，没有通过趋势显著检验。在 1980~1990 年前后呈两个不同的状态，即平均值和变化趋势均不同，具有明显的气候突变点。利用 Mann-Kendall 法检测各台站日照时数序列的突变点(先统计 309 观测站每个观测站出现突变的年份，然后把各年出现的突变观测站数累加)，得到图 4b 各年份产生突变的观测站数，可见各站日照时数突变年份主要集中在 1981 年前后。

3.3 中国地区日照时数的年平均时空变化特征

为了更好地分析各区域的时空演变状况，对 309 个观测站年平均资料、各季节年平均资料运用 EOF 分解，得到图 5 各站年平均的分布结果，第一分量（EOF1）方差贡献率为 38.4%，说明日照时数在空间变化上，全国大部分地区都是比较一致的减少趋势；同时，从时间系数上也可以看出，在 1981 年前后发生了显著的突变，这与上一小节得到的结果一致。从变化幅度上来看，在我国东南部较西北部这种减少的趋势更显著。从第二分量（EOF2）上看，还存在一定南北差异，以长江为界，我国南方

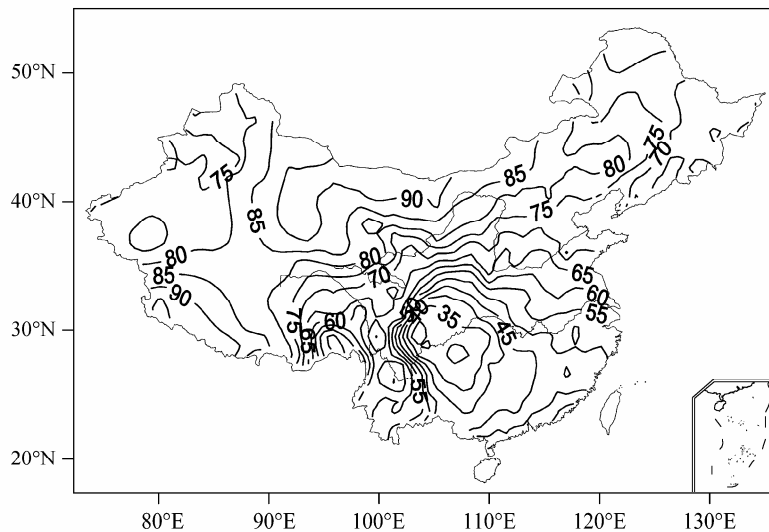


图 2 年平均日照时数（单位：10 h）总体分布

Fig. 2 Annual average sunshine duration (units: 10 h) distribution

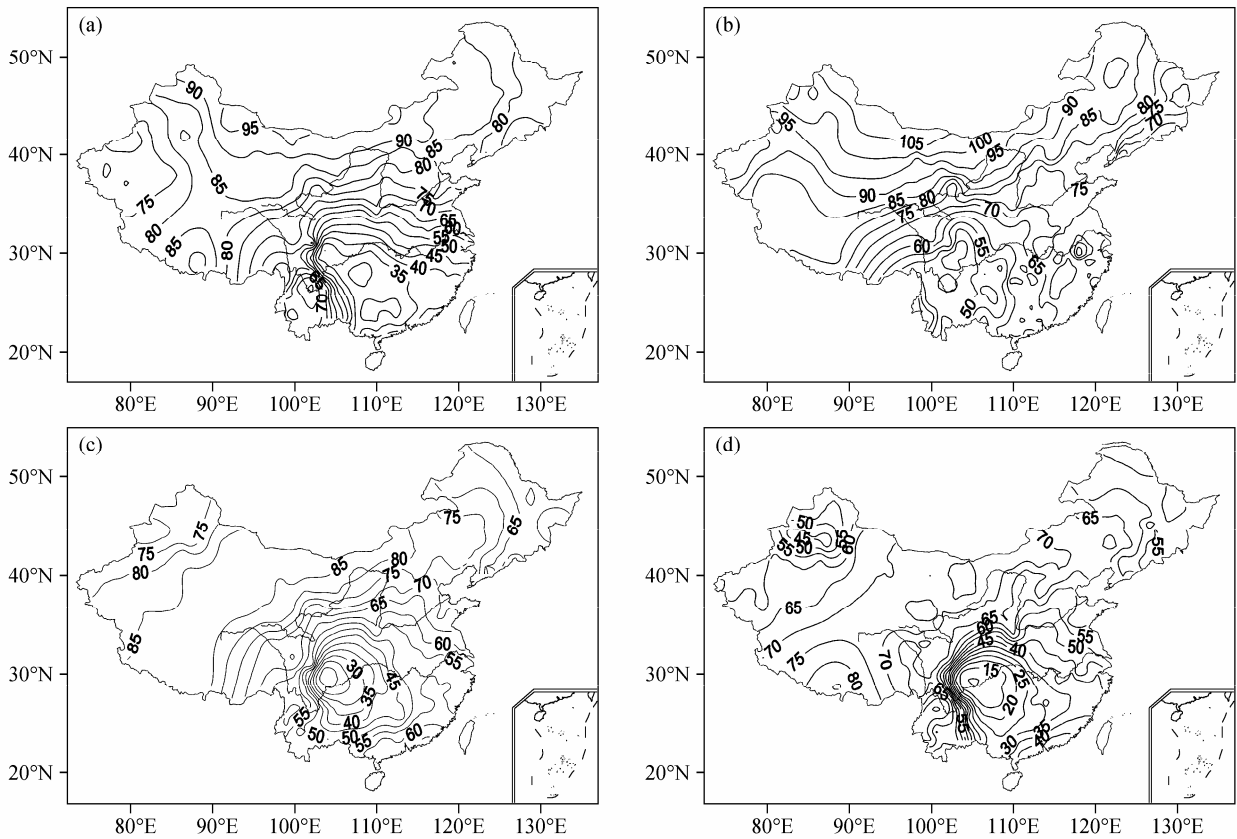


图3 春夏秋冬各季节平均日照时数(单位: 10 h)分布: (a) 春季; (b) 夏季; (c) 秋季; (d) 冬季
Fig. 3 Average sunshine duration (units: 10 h) distribution: (a) Spring; (b) summer; (c) autumn; (d) winter

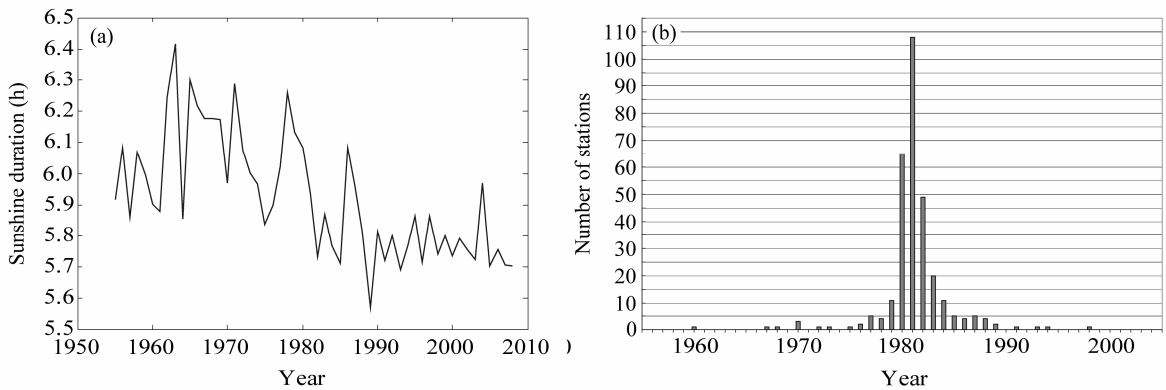


图4 中国地区区域平均后的 (a) 年日照时数时间序列与 (b) 各年份产生突变的观测站数
Fig. 4 (a) Area-averaged annual sunshine duration series in China and (b) number of stations with the same abrupt climate change year

和北方可能有相反的变化状况。因此, 基于 EOF2 的结果, 以长江为界, 将中国分成长江以南和长江以北两个区域来具体分析长期变化趋势。并结合传统的地理分区, 将中国分成华南、华中、华东、华北、东北、西北、西南区域, 得到以上两种分区的结果如表 1 所示, 说明除西北地区以外, 我国大部分地区的日照时数减少趋势都很显著, 长江以南的减少程度大于长江以北。就 7 大分区来说, 华中和华东地区减少最为显著, 其次是华南和华北。

3.4 中国地区日照时数的季节变化特征

为了得到更加详细的日照时数季节变化情况, 绘制 309 站春季 (3~5 月)、夏季 (6~8 月)、秋季 (9~11 月)、冬季 (12~2 月) 空间平均后的年变化曲线 (图略)。从数值上看, 夏季平均日照最长, 冬季平均日照时数最短, 春季、秋季介于二者之间。春季在 1990 年前变化不大, 之后有微弱的上升趋势。夏季的减少趋势以及以 1980 年为界的突变情况最为显著。秋季以 1980 年为界, 呈现两

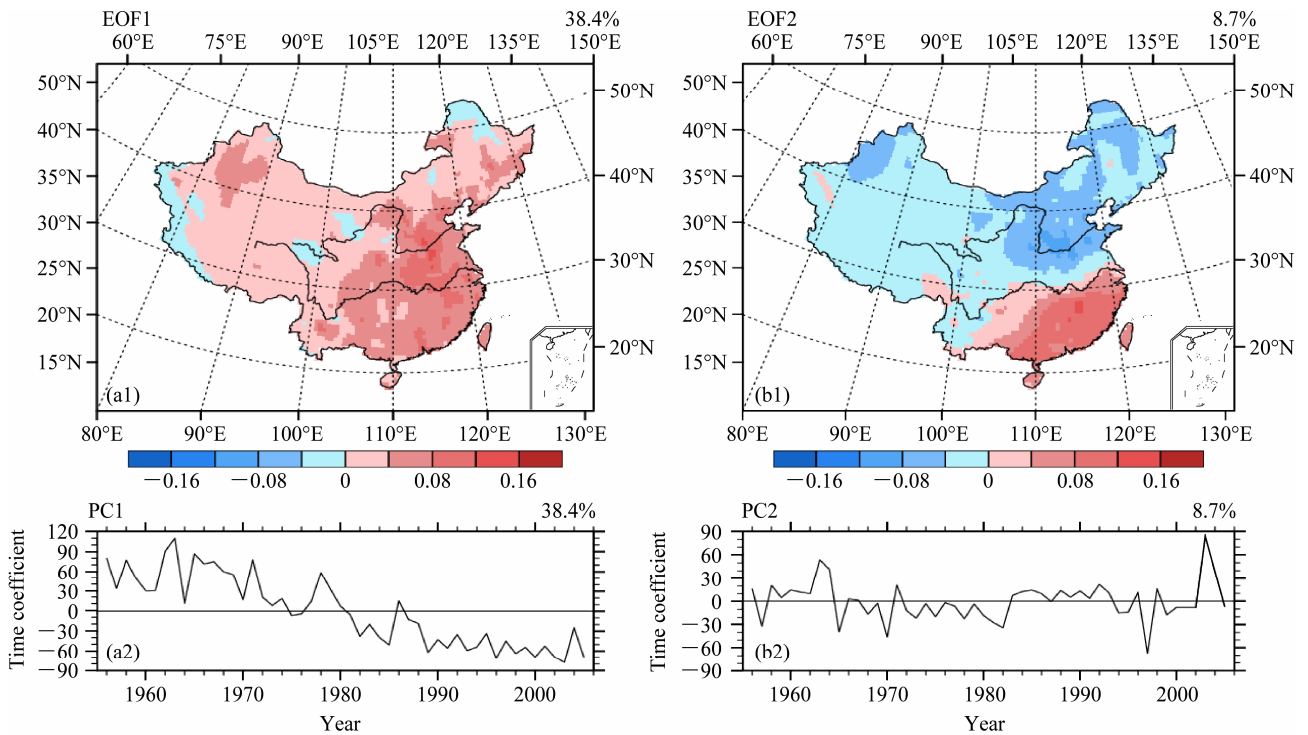


图 5 EOF 分解后的第一分量图 (左列) 与第二分量图 (右列) 对应的 (a1、b1) 空间模态和 (a2、b2) 时间系数

Fig. 5 The (a1, b1) leading EOF eigenvectors and (a2, b2) temporal coefficient of sunshine duration at 309 stations in China for EOF1 (left column) and EOF2 (right column)

表 1 中国分区的局地趋势变化和对应的显著性检验

Table 1 Regional trends in China and its statistical significance

区域	99%信度检验	日照时数减少量 [h (10 a) ⁻¹]
长江以南	通过	0.1695
长江以北	通过	0.1236
华南	通过	0.1549
华中	通过	0.2284
华东	通过	0.2125
华北	通过	0.1413
东北	通过	0.1191
西北	不通过	0.0468
西南	通过	0.1168

段较为稳定的时期。冬季以 1990 为界，呈微弱的减少趋势。四季基本都能看出明显的阶段特征，其中夏季减少的趋势最为显著，也是日照时数变化的主要原因。

从各季节的年平均后的 EOF1 分析图 (图 6)，从中可以看出：春季日照的减少在我国西北和华北尤为显著，与沙尘入侵区域一致，可能和沙尘入侵有很大关系 (唐国利和巢清尘, 2005)；夏季的变化大致跟我国年变化一致，即处在总体减少、东南地区尤其显著的状态且以 1980 年为界的突变情况

最为显著；秋季除整体趋于一致外在我国东北部出现相反的变化状态，四川盆地附近不再有显著减少的趋势，可能和该地区秋季的气象背景有很大关系；冬季在整体一致微弱减少的基础上，以东南沿海为显著减少中心。而从时间变化上来看，除了春季有不同于全年的弱微增加趋势外，其他 3 个季节整体趋于一致减少，尤以夏季更能体现出全年的减小趋势与突变特征。而从 EOF2 (图略) 得结果可以看出：春季我国东南地区和东北地区在春季可能具有跟其他地区相反的变化特征；夏季日照可能和降水关系密切，我国长江以南的梅雨和东北部的相对少雨，可能对夏季日照时数的变化有很大影响；秋季日照大致明显的四个区域：长江以南地区、华北地区、西北地区 and 东北地区；冬季南北差异的特征更加明显，体现了更强的局地特征。

4 结论与讨论

我国日照时数分布具有明显的区域特征。从纬向分布上看，日照时数从北向南递减。从区域特征上来看，四川盆地、我国西北边隅和东北边隅是 3 个明显的局地中心。中国日照时数近 50 年来呈现减少的趋势，在 1980 年前后显示有突变，1990 年

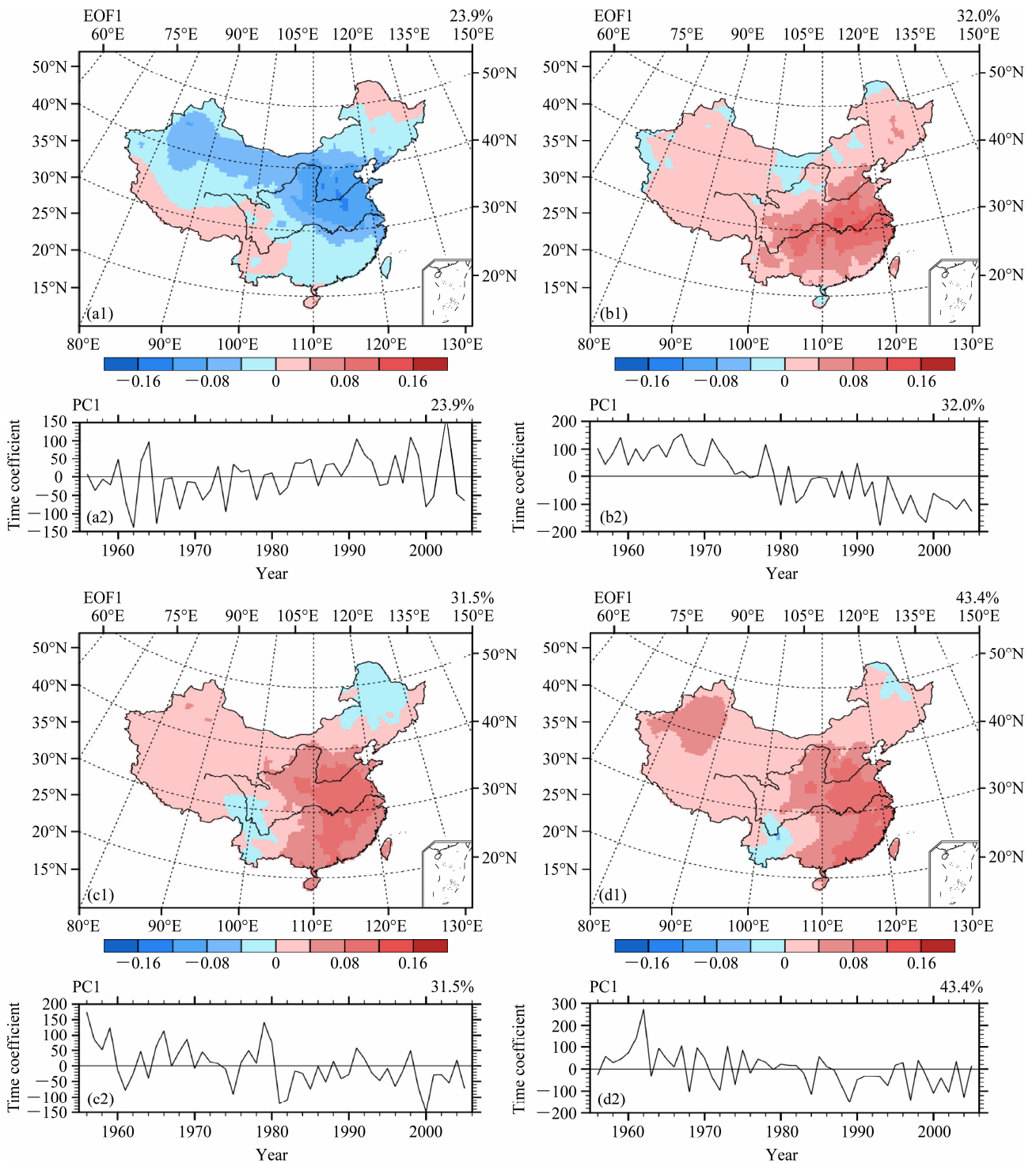


图 6 各季节日照的 EOF 分解后的第一分量的 (a1、b1、c1、d1) 空间特征向量分布和 (a2、b2、c2、d2) 对应时间系数: (a1、a2) 春季; (b1、b2) 夏季; (c1、c2) 秋季; (d1、d2) 冬季

Fig. 6 (a1, b1, c1, d1) Leading EOF eigenvector and (a2, b2, c2, d2) temporal coefficient of seasonal sunshine duration at 309 stations in China: (a1, a2) Spring; (b1, b2) summer; (c1, c2) autumn; (d1, d2) winter

以后减少趋势得到缓解, 并维持在一个相对较低的水平。日照时数总体上减少主要来源于夏季日照时数的减少。从空间分布上来看, 我国整体上趋势一致, 即日照时数在大部分地区都是减少的趋势, 同

时此类变化趋势在我国南方较北方更为显著。日照的南北差异性可以将我国首先分成东南和西北两个大区进行讨论, 即东南地区最近 50 年来日照时数显著减少, 西北地区日照呈微弱减少。同时以长

江为界，长江以南地区和长江以北地区受其他气候要素影响，差异性显著。

日照时数减少的同时可能和各季节的气候背景有很大关系，如春季的沙尘等可能对其有影响。各季节不同区域呈现不同的变化特征，可以将我国大致分成明显的 4 个区域：长江以南地区、华北地区、西北地区和东北地区或者更细致的分区。讨论日照时数不同地区的不同变化特征时，可以围绕年平均和季节平均的日照时数 EOF 分解图所显示的区域差异来展开。

中国日照时数近 50 年来呈现减少的趋势，1990 年以后减少趋势得到缓解的结论与大气辐射变化的主要结论：“1980 年前全球大部分地区包括中国处在一个变暗的过程，20 世纪 80 年代之后处在一个变亮的过程”不是完全一致，主要体现在 1980 年之后，中国地区的日照时数并没有明显的增多，这可能和中国地区在 1980 年代之后气溶胶排放显著增加有关。

日照时数总体上在减少，但关于云量的研究发现云量也在降低 (Kaiser and Qian, 2000)，通过分析气溶胶的增加了的区域与日照时数减少的区域一致，很多学者认为主要归因于气溶胶的变化导致 (Kaiser, 2000; 罗云峰, 2002; Liang and Xia, 2005)。尽管中国的日照时数在持续减少，但 1950 年以来中国的地表气温却持续升高。这一矛盾意味着温室效应的增加可能起着很重要的作用。1980 年后日照时数变化不显著，同时期的温度增加幅度很大，说明在全球变暖当中，人类活动对气候变化产生了更大的影响。这与 Pinker et al. (2005) 所做的全球“变暗”可能与城市化有很大关系一致，从一个角度上支持了很多学者研究得到的人类活动影响很可能是 20 世纪气候变暖的主要原因，至少是主要原因之一的结论 (王绍武和龚道溢, 2001)。

参考文献 (References)

Che H Z, Shi G Y, Zhang X Y, et al. 2005. Analysis of 40 years of solar radiation data from China, 1961–2000[J]. *Geophys. Res. Lett.*, 32 (6): 1–5.
Kaiser D P. 2000. Decreasing cloudiness over China: An updated analysis examining additional variables [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 27 (15): 2193–2196.
Kaiser D P, Qian Y. 2002. Decreasing trends in sunshine duration over China for 1954–1998: Indication of increased haze pollution?[J]. *Geophys. Res. Lett.*, 29(21): 2042, doi:10.1029/2002GL016057.
罗云峰, 吕达仁, 何晴, 等. 2000. 华南沿海地区太阳直接辐射、能见度及大气气溶胶变化特征分析 [J]. *气候与环境研究*, 5 (1): 36–44. Luo

Yunfeng, Lü Daren, He Qing, et al. 2000. An analysis of direct solar radiation, visibility and aerosol optical depth in South China coastal area [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 5 (1): 36–44.
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 Xiuji, 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.
Liang F, Xia X A. 2005. Long-term trends in solar radiation and the associated climatic factors over China for 1961–2000 [J]. *Annal. Geophys.*, 23 (7): 2425–2432.
Pinker R T, Zhang B, Dutton E G. 2005. Do satellites detect trends in surface solar radiation? [J]. *Science*, 308: 850–854.
唐国利, 巢清尘. 2005. 近 48 年中国沙尘暴的时空分布特征及其变化 [J]. *应用气象学报*, 16 (增刊): 128–132. Tang Guoli, Chao Qingchen. 2005. Temporal and spatial distribution of dust storm in China in the last 48 years [J]. *Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese)*, 16 (Suppl): 128–132.
王绍武, 龚道溢. 2001. 对气候变暖问题争议的分析 [J]. *地理研究*, 20 (2): 153–160. Wang Shaowu, Gong Daoyi. 2001. On debates concerning the global warming [J]. *Geographical Research (in Chinese)*, 20 (2): 153–160.
王雅婕, 黄耀, 张稳. 2009. 1961~2003 年中国大陆地表太阳总辐射变化趋势 [J]. *气候与环境研究*, 14 (4): 405–413. Wang Yajie, Huang Yao, Zhang Wen. 2009. Changes in surface solar radiation in mainland China over the period from 1961 to 2003 [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 14 (4): 405–413.
魏凤英. 2007. 现代气候统计诊断与预测技术 (第 2 版) [M]. 北京: 气象出版社, 63–66. Wei Fengying. 2007. *Modern Climatic Statistical Diagnosis and Prediction (2nd ed.) (in Chinese)* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 63–66.
Wild M. 2009. Global dimming and brightening: A review [J]. *J. Geophys. Res.*, 114 (D10), doi:10.1029/2008JD011470.
Wild M, Gilgen H, Roesch A, et al. 2005. From dimming to brightening: decadal changes in solar radiation at earth's surface [J]. *Science*, 308: 847–850.
Wild M, Ohmura A, Makowski K. 2007. Impact of global dimming and brightening on global warming [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 34 (4), doi: 10.1029/2006GL028031.
许建明, 何金海, 阎凤霞. 2010. 1961~2007 年西北地区地面太阳辐射长期变化特征研究 [J]. *气候与环境研究*, 15 (1): 89–96. Xu Jianming, He Jinhai, Yan Fengxia. 2010. Research on secular variation of solar radiation over Northwest China from 1961 to 2007 [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 15 (1): 89–96.
章名立, 曾昭美, 季劲均. 1996. 全球增暖过程中亚洲东部区域气候的特点 [J]. *地理学报*, 51 (6): 518–526. Zhang Mingli, Zeng Zhaomei, Ji Jinjun. 1996. Characters of regional temperature in East Asia during global warming period [J] *Acta Geographica Sinica (in Chinese)*, 51 (6): 518–526.
周长艳, 杨秀海, 旦增顿珠, 等. 2008. “日光城”拉萨日照时数的变化特征 [J]. *资源科学*, 30 (7): 1100–1104. Zhou Changyan, Yang Xiuhai, Dan Zengdunzhu, et al. 2008. Changes in sunlight duration in Lasa, the City of Sunlight [J]. *Resources Science (in Chinese)*, 30 (7): 1100–1104.