

# 近50年新疆日照时数时空变化分析

张山清<sup>1</sup>, 普宗朝<sup>2</sup>, 李景林<sup>1</sup>

(1. 新疆农业气象台, 乌鲁木齐 830002;

2. 新疆乌鲁木齐市气象局, 乌鲁木齐 830002)

**摘要:** 利用新疆101个气象站1961-2010年的逐月日照时数、总云量和低云量资料, 使用线性趋势分析、Mann-Kendall检测以及基于ArcGIS的混合插值法对春、夏、秋、冬四季和年日照时数的变化趋势、突变特征以及日照时数多年平均值和突变前后变化量的空间分布及其与云量的关系进行了分析, 结果表明: (1) 新疆春季日照时数总体呈现“从东北向西南递减”的空间分布特点; 夏季为“北疆多, 南疆少, 东部多、西部少, 平原和盆地多, 山区少”的格局; 秋季呈现“由东南向西北递减”的分布格局; 冬季具有“东部多, 西部少”的特点。新疆各地年日照时数2450~3450 h, 其空间分布总体呈现“东部多, 西部少; 平原和盆地多, 山区少”的格局。(2) 1961-2010年, 除春季日照时数呈不显著的略增趋势外, 新疆夏季、秋季、冬季和年日照时数分别以 $-4.27 \text{ h} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 、 $-4.30 \text{ h} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 、 $-14.36 \text{ h} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 和 $-19.42 \text{ h} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的倾向率呈显著的减少趋势。并且, 夏季、秋季、冬季和年日照时数分别于1988年、1986年、1987年和1982年发生了突变。突变年前后, 全疆各地日照时数的变化具有明显的区域性差异, 以年日照时数为例, 1982年后较其之前, 除吐鲁番、哈密盆地, 塔里木盆地南缘等少部分区域年日照时数有所增多外, 全疆大部为减少的态势。(3) 云量是影响新疆日照时数的主要因素, 总体来说, 新疆总云量和低云量较少的区域日照时数相对较多; 反之, 亦然。近50a, 新疆总云量变化不明显, 但低云量明显增多, 这是导致日照时数减少的主要成因。

**关键词:** 新疆; 日照时数; 时空变化; ArcGIS

DOI: 10.11821/dlxb201311004

## 1 引言

以气候变暖为主要特征的全球变化已成为一个不争的事实<sup>[1]</sup>。气候变化将导致大气物理和化学结构发生一系列复杂多样的变化, 进而对到达地球表面的太阳辐射产生影响<sup>[2]</sup>。日照时数是反映太阳辐射强弱的重要气候指标, 同时也是表征气候变化的重要气候要素之一, 因此, 近年来有关全球变化背景下日照时数时空变化的研究受到学术界广泛的关注。任国玉等<sup>[3]</sup>对中国1956-2002年日照时数变化的研究表明, 受低云量和大气气溶胶增多的影响, 全国平均年日照时数总体呈显著的下降趋势, 但变化具有明显的区域性和季节性差异。刘义花等<sup>[4]</sup>研究认为, 青海省日照时数与总云量、低云量存在着显著的负相关关系, 受云量增多的影响, 1971-2007年青海省日照时数呈明显减少的趋势。何彬方等<sup>[5]</sup>研究指出, 1955-2005年, 安徽省除春季日照时数变化不明显外, 其他季节及年日照时数呈显著减少的趋势, 其成因主要是大气水汽压增大之故。杜军等<sup>[6]</sup>对西藏各地1971-2005年日照时数

收稿日期: 2013-03-29; 修订日期: 2013-08-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(31260312); 新疆气象局科研项目(201127; 201312) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.31260312; Scientific Research Project From Xinjiang Meteorological Bureau, No.201127; No.201312]

作者简介: 张山清(1966-), 女, 陕西靖边人, 高级工程师, 主要从事气候变化与应用气象研究。

E-mail: puzongchao@163.com

通讯作者: 普宗朝(1965-), 男, 高级工程师, 主要从事气候变化与应用气象研究。E-mail: puzongchao@163.com

变化趋势分析表明,受水气压增大的影响,近35a西藏年日照时数表现为极显著的减少趋势。霍华丽等<sup>[7]</sup>、郝智文等<sup>[8]</sup>分别对宁夏回族自治区和山西省近50a日照时数的变化分析显示,各地年日照时数均呈显著的下降趋势,但其变化存在明显的空间和季节性差异。徐宗学等<sup>[8]</sup>、买苗等<sup>[9]</sup>对1960-2001年黄河流域日照时数和日照百分率时空变化的研究也证实,在过去的40a里,整个流域日照时数和日照百分率总体呈明显的减少趋势,但其成因有待进一步研究。刘艳艳等<sup>[11]</sup>对1960-2005年河西干旱区日照时数变化特征的分析则显示,在过去的46a里该地区年和春、夏、秋、冬四季的日照时数总体呈上升趋势,但由于云量和水气压变化具有季节和区域性的差异,因此,各地、各季的变化各异。以上前人的研究结果表明,在过去的数十年里,我国的日照时数总体呈减少趋势,但变化具有明显的区域性和季节性差异。

新疆地处影响我国的西风带天气的上游,其气候变化不仅对新疆的社会经济发展、生态环境具有重要影响,同时对我国中东部地区的天气、气候、社会经济和生态环境也将产生广泛而深刻的影响<sup>[12-13]</sup>。近年来,有关全球变化背景下新疆日照时数变化的研究也引起了一些学者的关注,刘卫平等<sup>[14]</sup>的研究表明,1961-2005年新疆阿克苏地区春季和夏季日照时数呈增多趋势,而秋季和冬季呈减少趋势,受其影响年日照时数呈不显著的增多趋势。杨霞等<sup>[15]</sup>对新疆喀什地区1970-2008年日照时数的变化分析认为,该地区春、夏季日照时数增加趋势显著,秋、冬季增加趋势较弱,年日照时数呈显著增加趋势。赵勇等<sup>[16]</sup>、辛宏等<sup>[17]</sup>揭示了近半个世纪以来新疆天山山区年日照时数在空间分布上呈“东多西少,南多北少”的分布特征,在时间变化上表现为极显著的减少趋势,其中春季略有增加,冬季明显减少,夏、秋季缓慢减少的事实。但以上有关新疆日照时数变化的研究具有以下局限性,一是研究工作主要针对某一地区或区域,缺乏对全疆日照时数时空变化的研究;二是缺乏对新疆日照时数变化成因的分析;三是大多没有考虑地理因素对日照时数时空变化的影响,精细化程度较低,难以适应现代社会经济发展和生态环境保护对日照时数精细化时空变化信息的需求。本文拟在前人研究工作的基础上,选用新疆境内尽可能多的气象站点的历史气候数据,结合ArcGIS强大的空间插值技术,研究分析1961-2010年新疆春、夏、秋、冬四季和年日照时数的精细化时空变化及其与云量的关系。为适应和应对气候变化,科学有效地开发应用太阳能资源,促进新疆生态环境保护提供参考依据。

## 2 研究区域和方法

### 2.1 研究区域和资料来源

**2.1.1 研究区概况** 新疆位于中国西北边陲,深居中纬度欧亚大陆腹地,地理坐标东经 $73^{\circ}20'41''\sim 96^{\circ}25'$ ,北纬 $34^{\circ}15'\sim 49^{\circ}10'45''$ ,总面积 $166.49 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,是我国地域面积最大的省区。其气候特点是:日照充足,热量丰富,降水稀少且时空分布不均,气候干燥,气温日较差大,生态环境脆弱,属典型的温带大陆性干旱气候区。由于地域辽阔,自然环境多样,各地气候差异明显,为

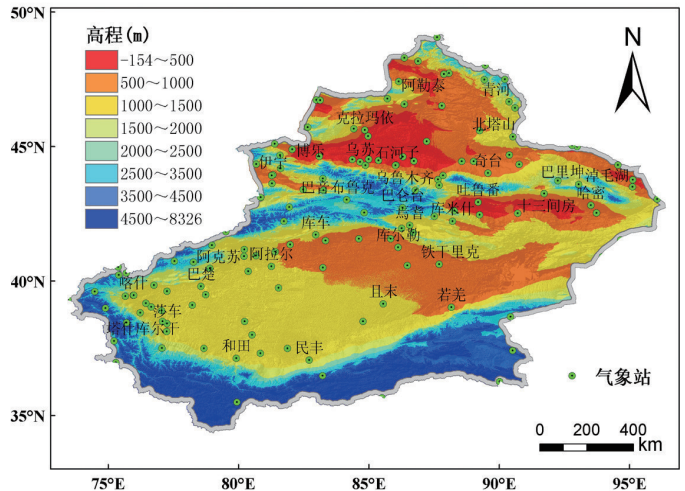


图1 新疆高程和气象站点分布

Fig. 1 Spatial distribution of altitude and meteorological stations in Xinjiang

开展多种形式的农牧业生产提供了丰富多样的农业气候资源,因此,新疆是我国重要的粮、棉、畜和多种名、优、特农产品生产基地之一<sup>[14-15]</sup>。

**2.1.2 资料来源** 选用新疆境内101个资料序列较长的气象站1961-2010年的逐月日照时数、总云量和低云量实测资料,研究分析近50a新疆春、夏、秋、冬四季和年日照时数的时空变化规律及其与云量的关系。研究区域、地形地貌和所选气象站点的分布情况见图1。各站气象数据和新疆1:50000地理信息数据(包括行政区界矢量数据和数字高程(DEM)栅格数据)由新疆气象信息中心提供。

## 2.2 研究方法

**2.2.1 日照时数和云量的统计方法** 新疆各站1961-2010年春季(3-5月)、夏季(6-8月)、秋季(9-11月)、冬季(12-2月)和年日照时数分别为各季或年内各月日照时数之和,年平均总云量和低云量为年内各月总云量和低云量的平均,各要素的全疆平均值为101个站点要素值的算术平均值。

**2.2.2 日照时数、云量变化趋势及突变分析方法** 分别用线性倾向率和Mann-Kendall法(以下简称M-K法)对新疆1961-2010年春、夏、秋、冬四季和年日照时数变化趋势、突变特征以及年平均总云量和低云量的变化趋势进行分析和检测,具体方法见文献[18]。

**2.2.3 日照时数和云量空间分布的栅格化数学模型** 新疆地域辽阔,地势起伏悬殊,“三山夹两盆”的复杂地貌形成了新疆复杂多样的气候类型<sup>[19]</sup>。为提高日照时数和云量空间分布式模拟的精度,本文采用混合插值法(宏观地理因子的三维二次趋势面模拟+残差内插)对新疆春、夏、秋、冬四季和年日照时数以及总云量和低云量进行200 m×200 m栅格点的空间插值模拟<sup>[20-23]</sup>。即:

$$w = w(\lambda, \phi, h) + \varepsilon = (b_0 + b_1\lambda + b_2\phi + b_3h + b_4\lambda\phi + b_5\phi h + b_6\lambda h + b_7\lambda^2 + b_8\phi^2 + b_9h^2) + \varepsilon \quad (1)$$

式中,  $w$  为日照时数或云量的栅格点模拟值;  $w(\lambda, \phi, h)$  为宏观地理因子影响的日照时数或云量的栅格点模拟值;  $\varepsilon$  为局部小地形因子和随机因素对日照时数或云量的影响,即残差项;  $\lambda$  为栅格点的平均经度(°);  $\phi$  为栅格点的平均纬度(°);  $h$  为栅格点的平均海拔高度(100 m);  $b_0 \sim b_9$  为待定系数。

残差项的插值运算方法较多,经对比试验,普通Kriging法对新疆日照时数和云量残差项的栅格点插值模拟效果较好。普通Kriging法是地统计学中最常用的插值方法,对于任意栅格点某要素的估计值,均可以研究区域内  $n$  个已知测站该要素的实际值的线性组合得到,即<sup>[20-23]</sup>:

$$\varepsilon(x_0) = \sum_{i=1}^n p_i \varepsilon(x_i) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中,  $\varphi(x_0)$  为日照时数和云量残差项的栅格点模拟值;  $n$  为用于插值的气象站点的数目;  $\varphi(x_i)$  为第  $i$  个气象站点日照时数和云量的残差值;  $p_i$  是第  $i$  个气象站点的权重系数。为了达到线性无偏估计,使估计方差最小,权重系数由以下Kriging方程组得到<sup>[24]</sup>:

$$p_i = \begin{cases} \sum_{j=1}^n p_j c(x_i, x_j) - u = c(x_i, x_0) \\ \sum_{j=1}^n p_j = 1 \end{cases} \quad (3)$$

式中,  $c(x_i, x_j)$  为站点间要素的协方差函数,  $c(x_i, x_0)$  为站点  $i$  与待插值栅格点间的协方差函数,  $u$  为极小化处理时的拉格朗日乘子。

利用上述方法,在ArcGis10.0平台上完成基于1:50000数字高程模型(DEM)数据的新疆200 m×200 m栅格的1961-2010年平均的春、夏、秋、冬四季和年日照时数以及总云量和低云量的精细化分布式模拟。采用同样方法,分别对发生突变的日照时数要素进行突变前和突变后多年平均值的精细化分布式模拟,将突变后的栅格数据减突变前的,即可获得突变前后日照时数变化量的空间分布式模拟<sup>[20-23]</sup>。

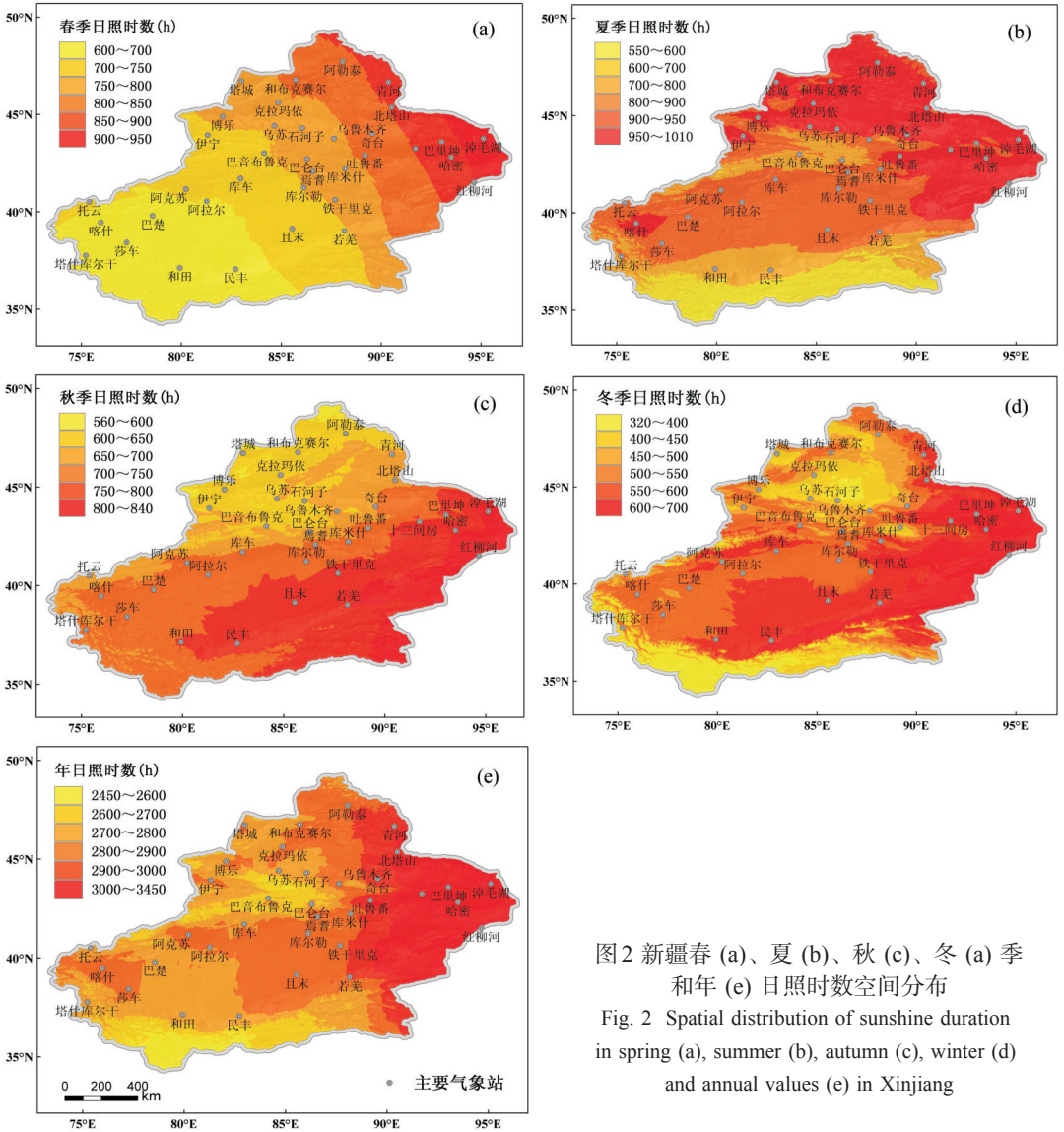


图2 新疆春(a)、夏(b)、秋(c)、冬(d)季和年(e)日照时数空间分布  
 Fig. 2 Spatial distribution of sunshine duration in spring (a), summer (b), autumn (c), winter (d) and annual values (e) in Xinjiang

### 3 结果分析

#### 3.1 四季和年日照时数的空间分布

**3.1.1 春季日照时数** 新疆春季日照时数为763.3 h，但空间差异明显。由图2a可以看出，其空间分布总体呈现“东北多，西南少”的特点。北疆的阿勒泰地区和东疆的吐鲁番、哈密地区大部以及昌吉回族自治州中、东部春季日照时数较多，为800~950 h；塔城、克拉玛依、石河子等地、市以及巴音郭楞蒙古自治州东北部为750~800 h；伊犁州和阿克苏地区大部以及巴音郭楞蒙古自治州东、南部为700~750 h；“南疆三地州”的喀什、和田和克孜勒苏州春季日照时数较少，只有600~700 h。

**3.1.2 夏季日照时数** 夏季是新疆日照时数最多的季节，全疆平均为899 h，其空间分布总体呈现“北疆多，南疆少，东部多、西部少，平原和盆地多，山区少”的格局(图2b)。北疆大部和东疆的吐鲁番、哈密地区夏季日照时数最多，一般在900 h以上；南疆大

部为700~900 h,塔里木盆地南缘和天山、昆仑山山区夏季日照时数较少,一般在700 h以下。

**3.1.3 秋季日照时数** 新疆秋季平均日照时数为696.3 h,其空间分布总体呈现“由东南向西北递减”的格局(图2c)。东疆的哈密地区大部和南疆的巴音郭楞蒙古自治州东南部、和田地区东部秋季日照时数较多,为750~840 h;南疆的其余大部、东疆的吐鲁番地区以及北疆的昌吉州东部为700~750 h;北疆大部和天山山区秋季日照时数不足700 h,其中北疆北部、西部只有560~650 h。

**3.1.4 冬季日照时数** 冬季是新疆日照时数最少的季节,全疆平均509.9 h,其空间分布总体呈现“东部多,西部少”的格局(图2d)。东疆的吐鲁番、哈密地区,南疆的巴音郭楞蒙古自治州东部和南部、和田地区大部以及北疆的阿勒泰地区东部秋季日照时数较多,为550~700 h;南疆的其余大部和北疆的准噶尔盆地周边地区以及天山山区为450~550 h;准噶尔盆地腹地因冬季多阴雾天气,秋季日照时数不足450 h。

**3.1.5 年日照时数** 新疆平均年日照时数为2868.1 h。受四季日照时数空间分布的影响,年日照时数空间分布呈现“东部多,西部少;平原和盆地多,山区少”的格局(图2e)。北疆东部、东疆大部和南疆东部年日照时数较多,为2900~3450 h;南、北疆的其余大部为2700~2900 h;天山和昆仑山山区年日照时数较少,一般不足2700 h。按照文献[25]以年日照时数为指标的太阳能资源丰富程度划分标准,新疆除天山和昆仑山区为太阳能资源较丰富区外,全疆大部为太阳能资源丰富区,开发潜力巨大。

## 3.2 四季和年日照时数的时间变化

**3.2.1 春季日照时数** 线性趋势分析表明,1961-2010年,新疆春季日照时数总体以 $3.7223 \text{ h} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的倾向率呈不显著的增多趋势(图3a),50a来增多了18.6 h。由其年代际变化来看,20世纪60-90年代稳定少变,为760 h左右,进入21世纪的2001-2010年略有增多,为776.4 h(表1)。由近50a春季日照时数序列的M-K检测可以看出(图3f),虽然其正序特征曲线UF和逆序特征曲线UB在 $\alpha = 0.05$ 的临界线 $\pm 1.96$ 之间有数个交点,但在这些交点之后UF曲线未突破临界线 $\pm 1.96$ ,这说明,近50a新疆春季日照时数没有发生突变。

**3.2.2 夏季日照时数** 1961-2010年,新疆夏季日照时数以 $-4.27 \text{ h} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的倾向率呈较显著( $\alpha = 0.05$ )的递减趋势(图3b),50a来减少了21.3 h。其年代际变化,20世纪60年代至90年代分别为909.6 h、907.8 h、898 h和883.4 h,呈持续减少的趋势,但2001-2010年又有所增多,为896.0 h(表1)。由近50a夏季日照时数序列的M-K检测可以看出(图3g),

表1 新疆各年代春、夏、秋、冬四季和年日照时数平均值

Tab. 1 The interdecadal average of sunshine duration in spring, summer, autumn, winter and annual values in Xinjiang

	1961-1970年	1971-1980年	1981-1990年	1991-2000年	2001-2010年
春季日照时数/h	755.6	766.0	760.9	757.7	776.4
夏季日照时数/h	909.6	907.8	898.0	883.4	896.0
秋季日照时数/h	701.7	713.7	686.6	689.6	689.9
冬季日照时数/h	541.5	517.9	513.2	498.5	478.1
年日照时数/h	2908.4	2905.5	2858.7	2828.3	2839.7

表2 1961-2010年新疆夏、秋、冬季和年日照时数突变前、后多年平均值及其变化量

Tab. 2 The average value and change range of sunshine duration in summer, autumn, winter and annual values before and after they had discontinuity in Xinjiang in recent 50 years

	突变发生时间	突变前平均值/h	突变后平均值/h	突变前后变化量/h
夏季日照时数/h	1988年	906.0	890.7	-15.3
秋季日照时数/h	1986年	703.9	688.7	-15.2
冬季日照时数/h	1987年	529.1	489.1	-40.0
年日照时数/h	1982年	2905.5	2841.1	-64.4

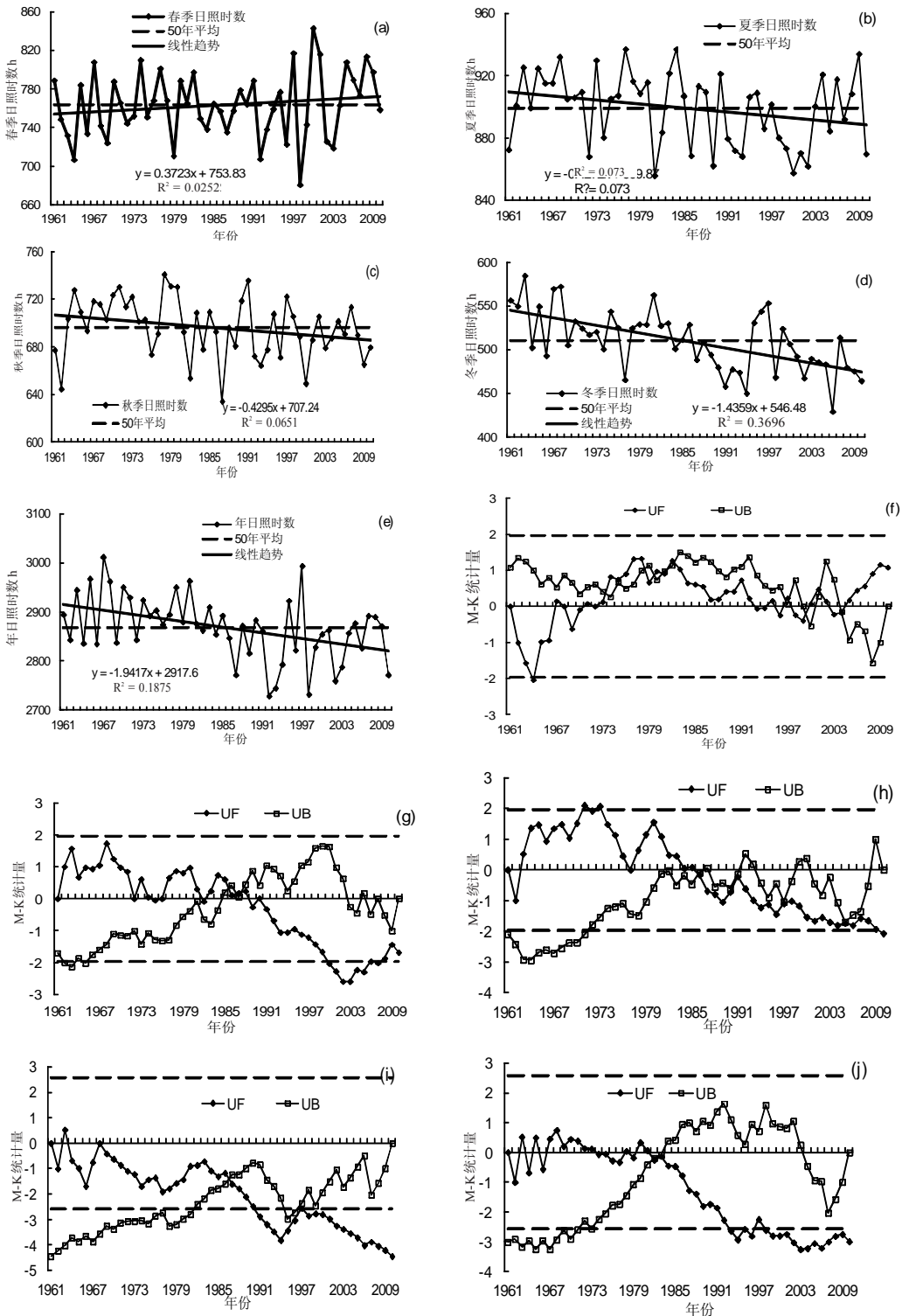


图3 1961-2010年新疆春、夏、秋、冬四季和年日照时数变化及其M-K检测

Fig. 3 The change of seasonal and annual sunshine duration (a-e) and their M-K abrupt change detection (f-j) in Xinjiang during 1961-2010

其正序特征曲线UF总体呈明显的下降趋势,并和逆序特征曲线UB于1987/1988年在 $a = 0.05$ 的临界线 $\pm 1.96$ 之间有一个交点,之后UF曲线于2000年突破了临界线-1.96,这说明,近50a新疆夏季日照时数于1988年发生了突变性的减小。突变后较突变前全疆平均夏季日照时数减少了15.3 h(表2)。但突变年前后,全疆各地夏季日照时数的变化具有明显的区域性差异(图4a),除准噶尔盆地、塔里木盆地西部以及吐鲁番、哈密盆地东部和塔额盆地、伊犁河谷等地的局部区域夏季日照时数增多了1~80 h外,全疆大部减少了0~105 h,其中,阿勒泰山、天山和东昆仑山山区减少幅度较大,为-50~-105 h。

**3.2.3 秋季日照时数** 1961-2010年,新疆秋季日照时数总体以 $-4.30 \text{ h} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的倾向率呈较显著( $a = 0.05$ )的递减趋势,50a来减少了21.5 h(图3c)。其年代际变化,20世纪60年代为701.7 h,70年代有所增多,为713.7 h,80年代降至686.6 h,之后各年代的秋季日照时数稳定少变(表1)。由近50a秋季日照时数序列的M-K检测可以看出(图3h),其正序特征曲线UF总体呈明显的下降趋势,和逆序特征曲线UB于1985/1986年在 $a = 0.05$ 的临界线 $\pm 1.96$ 之间有一个交点,之后UF曲线于2010年突破了临界线-1.96,这说明,近50a新疆秋季日照时数于1986年发生了突变性的减小。突变后较突变前全疆平均秋季日照时数减少了15.2 h(表2)。但突变年前后,全疆各地秋季日照时数的变化具有明显的区域性差异(图4b),北疆北部、东疆大部、南疆的南部和西北部、伊犁河谷等地秋季日照时数有所增多,增多幅度一般为1~20 h,个别区域增多21~50 h。北疆沿天山一带,天山山区大部,南疆中、东部等地秋季日照时数有所减少,减少幅度一般为0~20 h,个别区域减少20~80 h。

**3.2.4 冬季日照时数** 1961-2010年,新疆冬季日照时数以 $-14.36 \text{ h} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的倾向率呈极

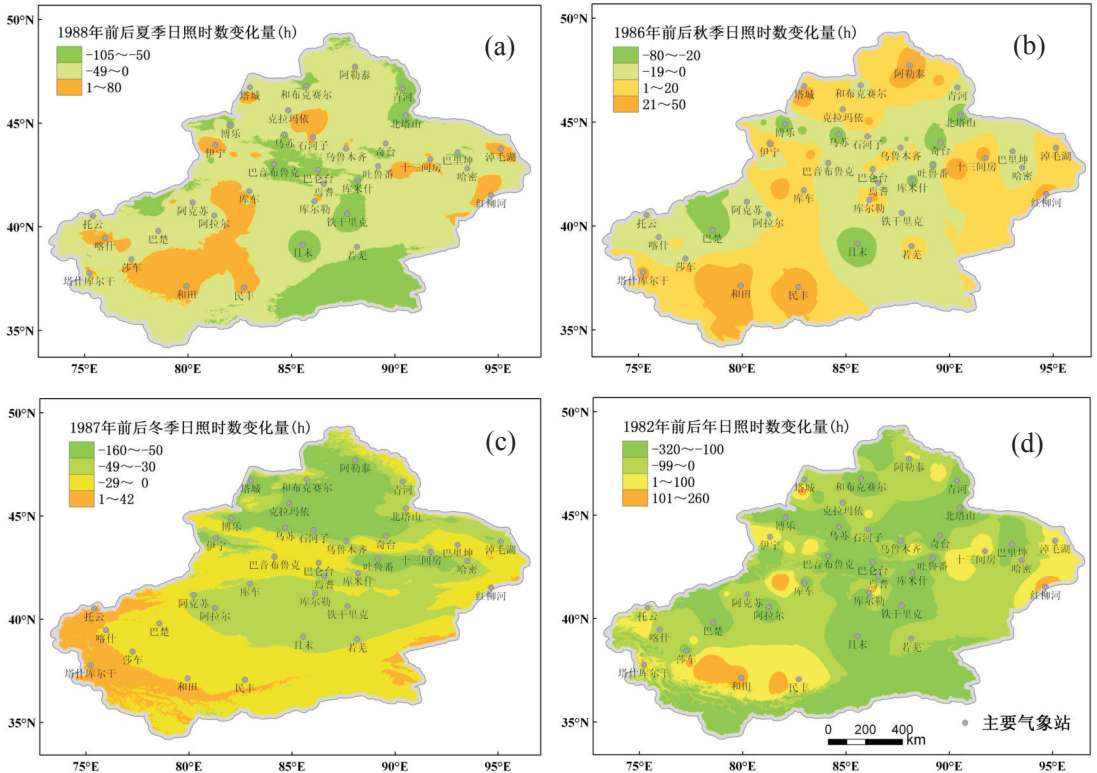


图4 突变年前后新疆夏季(a)、秋季(b)、冬季(c)和年(d)日照时数变化量的空间分布  
 Fig. 4 Spatial distribution of sunshine duration changes in summer (a), autumn (b), winter (c) and annual values (d) before and after they had discontinuity in Xinjiang in recent 50 years

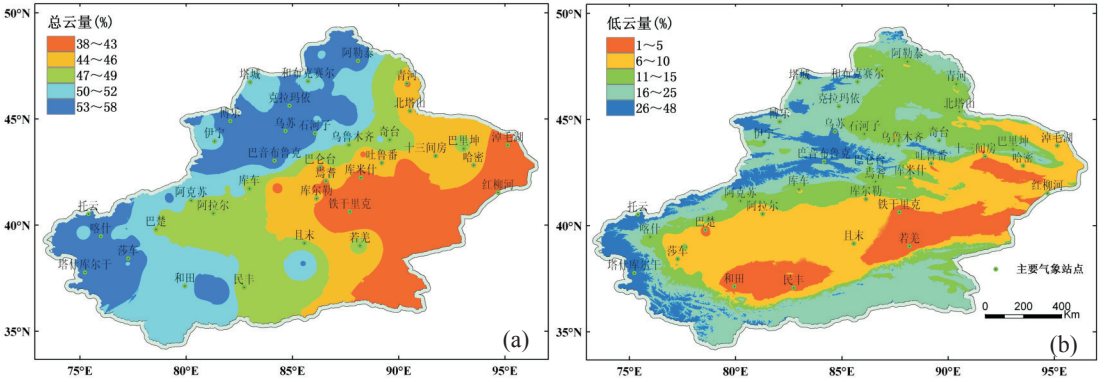


图5 新疆年总云量 (a) 和低云量 (b) 空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of annual mean total cloud amount (a) and low cloud amount (b) in Xinjiang

显著 ( $a = 0.001$ ) 的递减趋势, 50a来减少了71.8 h (图3d)。其年代际变化, 20世纪60、70、80和90年代以及21世纪的2001-2010年冬季日照时数分别为541.5 h、517.9 h、513.2 h、498.5 h和478.1 h, 呈逐年代持续递减之势, 其中80年代以来递减速率有所加快 (表1)。由近50a冬季日照时数序列的M-K检测可以看出 (图3i), 其正序特征曲线UF总体呈明显的下降趋势, 和逆序特征曲线UB于1986/1987年在 $a = 0.01$ 的临界线 $\pm 2.58$ 之间有一个交点, 之后UF曲线于1991年突破了临界线-2.58, 这说明, 近50a新疆冬季日照时数于1987年发生了突变性的减小。突变后较突变前全疆平均冬季日照时数减少了40.0 h (表2)。但突变年前后, 全疆各地冬季日照时数的变化具有明显的区域性差异 (图4c), 除南天山和西昆仑山山区冬季日照时数增多了1~42 h外, 全疆大部为减少的态势, 其中, 准噶尔盆地大部、伊犁河谷以及吐鲁番、哈密盆地冬季日照时数减少较明显, 减少幅度一般为50~160 h; 上述盆、谷地周边的山麓地带和塔里木盆地北部减少30~50 h; 阿勒泰山、中天山、东昆仑山及其山前冲、洪积平原减少0~30 h。

**3.2.5 年日照时数** 受四季日照时数变化的共同影响, 1961-2010年, 新疆年日照时数以 $-19.42 \text{ h} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的倾向率呈极显著 ( $a = 0.001$ ) 的减少趋势 (图3e), 50a来减少了97.1 h。其年代际变化, 20世纪60和70年代稳定少变, 分别为2908.4 h、2905.5 h。80和90年代持续递减, 分别为2858.7 h、2828.3 h, 2001-2010年又略有回升, 为2839.7 h (表1)。由近50a年日照时数序列的M-K检测可以看出 (图3j), 其正序特征曲线UF总体呈明显的下降趋势, 和逆序特征曲线UB于1981/1982年在 $a = 0.01$ 的临界线 $\pm 2.58$ 之间有一个交点, 之后UF曲线于1994年突破了临界线-2.58, 这说明, 近50a新疆年日照时数于1982年发生了突变性的减少。

突变后较突变前全疆

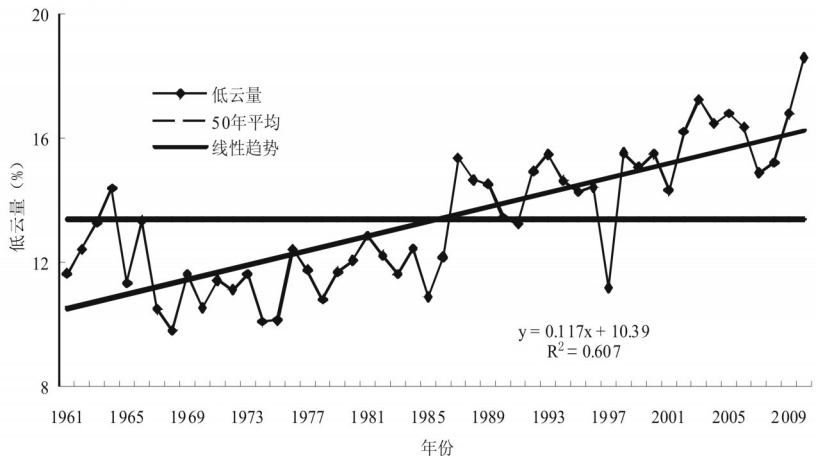


图6 1961-2010年新疆年平均低云量变化

Fig. 6 Low cloud amount change in Xinjiang during 1961-2010



平均年日照时数减少了64.4 h(表1)。但突变年前后,全疆各地年日照时数的变化具有明显的区域性差异(图4d),除吐鲁番、哈密盆地,塔里木盆地南缘,拜城盆地、焉耆盆地,以及北疆的塔额盆地、伊犁河谷等少部分地区年日照时数增多了1~260 h外,全疆大部减少了0~320 h,其中,北疆沿天山一带、天山山区大部、塔里木盆地东部年日照时数减少较明显,减少幅度一般为100~320 h。

### 3.3 云量对日照时数的影响

#### 3.3.1 云量对日照时数空间分布的影响

大量研究表明,云量是影响日照时数的最主要因素<sup>[3-4, 11, 16-17]</sup>。为揭示新疆日照时数空间分布与云量的关系,这里以年平均总、低云量和年日照时数为例加以说明。由图5a可见,新疆年平均总云量空间分布总体呈现“东部少,西部多;南疆少,北疆多;平原和盆地少,山区多”的格局。北疆东部、东疆大部和南疆东部总云量较少,只有38%~46%;塔里木盆地大部和准噶尔盆地东部为48%左右;北疆大部、南疆西部和天山山区总云量较多,为50%~58%。

低云量的空间分布与总云量大体相似(图5b),塔里木盆地及其以东地区以及东疆的吐鲁番、哈密盆地大部低云量一般不足10%;准噶尔盆地大部、塔里木盆地周边山前倾斜平原为11%~15%;北疆西部和阿勒泰山、天山、昆仑山区较多为16%~25%。

对比年日照时数的空间分布(图2e)可以看出,总体来说,新疆总、低云量较少的区域日照时数相对较多;反之,总、低云量较多的区域日照时数较少。统计全疆101站年日照时数与年平均总云量和低云量的相关关系,其相关系数分别为-0.5429和-0.3493,均通过了 $\alpha = 0.001$ 的显著性检验,这说明,云量是影响新疆日照时数空间分布的主要气候因素。

3.3.2 云量对日照时数时间变化的影响 线性趋势分析表明,1961-2010年,新疆年平均总云量无显著变化趋势,但低云量以 $1.172\% \cdot (10a)^{-1}$ 的倾向率呈显著( $\alpha = 0.001$ )的增多趋势(图6),50a来已增多5.9%。

就全疆低云量变化倾向率的空间分布来看(图7),除东疆的哈密地区大部以及南疆西部等局部区域年低云量以 $-1.8 \sim 0\% \cdot (10a)^{-1}$ 的倾向率略有减少外,全疆大部以 $0.1 \sim 3.0\% \cdot (10a)^{-1}$ 的倾向率增多,其中,塔里木盆地和准噶尔盆地以及南疆西南部山区低云量增多较明显,倾向率为 $1.1 \sim 3.0\% \cdot (10a)^{-1}$ ,局部可达 $3.1 \sim 6.6\% \cdot (10a)^{-1}$ ;南疆东部和天山山区大部倾向率为 $0.1 \sim 1.0\% \cdot (10a)^{-1}$ 。

对照1982年前后年日照时数变化量的空间分布(图4d)可以看出,两者的分布格局大体相反,即,近50a低云量减少的主要区域(哈密地区)日照时数有所增加。反之,低云量明显增多的区域(塔里木盆地和准噶尔盆地),日照时数的减少幅度也相对较大。这说明,近50a新疆低云量的增加是导致日照时数减少的主要原因。

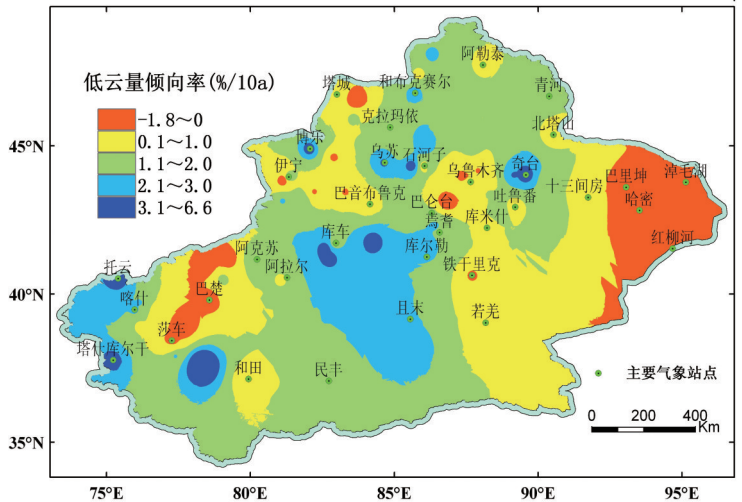


图7 1961-2010年新疆年平均低云量变化倾向率空间分布  
Fig. 7 Spatial distribution of low cloud amount change tendency rates in Xinjiang during 1961-2010

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

(1) 新疆春、夏、秋、冬四季日照时数的空间分布具有明显的区域性差异, 春季日照时数总体呈现“东北部多, 西南部少”的空间分布特点; 夏季为“北疆多, 南疆少, 东部多、西部少, 平原和盆地多, 山区少”的格局; 秋季呈现“由东南向西北递减”的分布格局; 冬季具有“东部多, 西部少”的特点。受其综合影响, 新疆各地年日照时数2450~3450 h, 其空间分布总体呈现“东部多, 西部少; 平原和盆地多, 山区少”的格局。

(2) 1961-2010年, 除春季日照时数以 $3.72 \text{ h} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的倾向率呈不显著的增多趋势外, 新疆夏季、秋季、冬季和年日照时数分别以 $-4.27 \text{ h} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 、 $-4.30 \text{ h} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 、 $-14.36 \text{ h} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 和 $-19.42 \text{ h} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的倾向率呈显著的减少趋势。并且, 夏、秋、冬季和年日照时数分别于1988年、1986年、1987年和1982年发生了突变性的减少。突变年前后, 新疆各地日照时数的变化具有明显的区域性差异, 以年日照时数为例, 1982年后较其之前, 除吐鲁番、哈密盆地, 塔里木盆地西南缘以及北疆的塔额盆地、伊犁河谷等部分区域年日照时数有所增多外, 全疆大部为减少的态势, 其中, 北疆沿天山一带、天山山区、塔里木盆地中、东部年日照时数减少较明显。

(3) 云量对新疆日照时数时空变化具有重要影响, 总体来说, 云量较少的区域日照时数相对较多; 反之, 云量较多的区域日照时数较少。近50a, 新疆总云量变化不明显, 但低云量明显增多, 这很可能是导致日照时数减少的主要成因。

### 4.2 讨论

(1) 新疆地处亚欧大陆腹地, 空气干燥, 云量少, 日照时数多, 太阳能资源丰富, 植物光合生产潜力大, 这对提高新疆农产品产量和品质, 促进农牧业经济的发展具有重要意义。另外, 丰富的太阳能资源也为大力发展新疆光电产业, 提高太阳能资源在国民经济和社会发展能源需求中的比例奠定了基础。但由于新疆日照时数的区域性差异明显, 因此须根据各地实际, 科学布局, 合理开发。

(2) 近50a新疆日照时数总体呈减少趋势, 50a来全疆平均年日照时数已减少了98.1 h, 减少约3.3%, 尽管目前这种变化尚不足以对新疆的生态环境以及国民经济和社会发展产生明显影响, 但其变化趋势值得关注。另外, 影响日照时数的因素很多, 影响机理也较复杂, 仅云量来说, 新疆低云量增多可直接导致日照时数减少, 但云量增多也可使新疆降水量增加, 进而导致南疆地区沙尘天气明显减少, 这或许是致使沙尘天气多发区的塔里木盆地南缘日照时数增多的原因之一<sup>[26]</sup>。另外, 人类对自然资源不合理开发利用造成的空气污染对日照时数也会产生一定影响。因此, 有关新疆日照时数精细化时空变化及其成因的研究还有待深入。

## 参考文献 (References)

- [1] IPCC. Summary for Policymakers of Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] Stanhill G, Cohen S. Global dimming: A review of the evidence of a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001, 107(4): 255-278.
- [3] Ren Guoyu, Guo Jun, Xu Mingzhi et al. Climate changes of China's mainland over the past half century. *Acta Meteorologica Sinica*, 2005, 63(6): 942-956. [任国玉, 郭军, 徐铭志等. 近50年中国地面气候变化的基本特征. *气象学报*, 2005, 63(6): 942-956.]
- [4] Liu Yihua, Wang Qingchun, Wang Zhenyu et al. Distribution characteristics of sunshine duration in Qinghai Province. *Resources Science*, 2011, 33(5): 1010-1016. [刘义花, 汪青春, 王振宇等. 1971年-2007年青海省日照时数的时空分布

- 特征. 资源科学, 2011, 33(5): 1010-1016.]
- [5] He Binfang, Feng Yan, Xun Shangpei et al. Climatic change of sunshine duration and its influencing factors over Anhui province during the last 50 years. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(7): 1275-1285. [何彬方, 冯妍, 荀尚培等. 安徽省50年日照时数的变化特征及影响因素. 自然资源学报, 2009, 24(7): 1275-1285.]
- [6] Du Jun, Bian Duo, Hu Jun et al. Climatic change of sunshine duration and its influencing factors over Tibet during the last 35 years. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(5): 492-500. [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. 地理学报, 2007, 62(5): 492-500.]
- [7] Huo Huali, Liu Puxing, Zhang Kexin. Spatio-temporal change of sunshine hour in Ningxia during the past 50 years. *Journal of Desert Research*, 2011, 31(2): 521-524. [霍华丽, 刘普幸, 张克新. 宁夏日照时数的时空变化分析. 中国沙漠, 2011, 31(2): 521-524.]
- [8] Hao Zhiwen, Fan Xiaohui, Zhu Xiaoqi et al. Change trends of sunshine duration over the 50 years from 1959 to 2008 in Shanxi Province, China. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(5): 1807-1871. [郝智文, 范晓辉, 朱小琪等. 山西省近50年日照时数变化趋势分析. 生态环境学报, 2009, 18(5): 1807-1871.]
- [9] Xu Zongxue, Zhao Fangfang. Variation of sunlight radiation duration in the Yellow River Basin. *Resources Science*, 2005, 27(5): 153-159. [徐宗学, 赵芳芳. 黄河流域日照时数变化趋势分析. 资源科学, 2005, 27(5): 153-159.]
- [10] Mai Miao, Zeng Yan, Qiu Xinfu et al. Variation of sunshine percentage for the last 40 years in the Yellow River Basin. *Meteorological Monthly*, 2005, 32(5): 62-66. [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. 气象, 2005, 32(5): 62-66.]
- [11] Liu Yanyan, Zhang Bo, Zhang Yaozong et al. Analysis of temporal and spatial characteristics of sunshine duration change in Hexi arid region. *Resources Science*, 2009, 31(9): 1581-1586. [刘艳艳, 张勃, 张耀宗等. 1960年至2005年河西干旱区的日照时数变化时空特征分析. 资源科学, 2009, 31(9): 1581-1586.]
- [12] Zhang Shanqing, Pu Zongchao, Fu Xiaohui et al. Effect of climate change on of natural vegetation in Xinjiang. *Arid Zone Research*, 2010, 27(6): 905-914. [张山清, 普宗朝, 伏晓慧等. 气候变化对新疆自然植被净第一性生产力的影响. 干旱区研究, 2010, 27(6): 905-914.]
- [13] Zhang Jiabao, Chen Hongwu, Mao Weiyi et al. The elementary assessment of climate change and environment in Xinjiang. *Desert and Oasis Meteorology*, 2008, 2(4): 1-11. [张家宝, 陈洪武, 毛炜峰等. 新疆气候变化与生态环境的初步评估. 沙漠与绿洲气象, 2008, 2(4): 1-11.]
- [14] Liu Weiping, Wei Wenshou, Tang Xiangling. Variation of sunshine hour in recent 45 years in Aksu Prefecture. *Arid Land Geography*, 2008, 31(2): 197-202. [刘卫平, 魏文寿, 唐湘玲. 阿克苏地区近45年日照时数变化特征. 干旱区地理, 2008, 31(2): 197-202.]
- [15] Yang Xia, Cai Mei, Zhao Yizhou et al. Analysis on the change of sunshine duration in Kashgar, Xinjiang in recent 39 years. *Arid Zone Research*, 2011, 28(1): 158-162. [杨霞, 蔡梅, 赵逸舟等. 近39年喀什日照时数变化分析. 干旱区研究, 2011, 28(1): 158-162.]
- [16] Zhao Yong, Cui Caixia, Li Yang. Climatic characteristics of sunshine duration in the Tianshan Mountains of Xinjiang. *Arid Zone Research*, 2011, 28(4): 688-693. [赵勇, 崔彩霞, 李扬. 新疆天山地区日照时数的气候特征变化及其影响因素. 干旱区研究, 2011, 28(4): 688-693.]
- [17] Xin Hong, Zhang Mingjun, Li Ruixue et al. Analysis on the change of sunshine duration and its affecting factors in the Tianshan Mountains in recent 50 years. *Arid Zone Research*, 2011, 28(3): 485-491. [辛宏, 张明军, 李瑞雪等. 近50年中国天山日照时数变化及其影响因素. 干旱区研究, 2011, 28(3): 485-491.]
- [18] Wei Fengying. *Modern Technology of Climate Statistical Diagnosis and Prediction*. Beijing: China Meteorological Press, 1999. [魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 1999.]
- [19] Zhang Shanqing, Pu Zongchao. Study on temporal and spatial variation characteristics of reference evapotranspiration in Xinjiang. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(5): 73-79. [张山清, 普宗朝. 新疆参考作物蒸散量时空变化分析. 农业工程学报, 2011, 27(5): 73-79.]
- [20] Li Jinglin, Zhang Shanqing, Pu Zongchao et al. Spatial-temporal variation of seasonal and annual air temperature in Xinjiang during 1961-2010. *Arid Land Geography*, 2013, 36(2): 228-237. [李景林, 张山清, 普宗朝等. 近50a新疆气温精细化时空变化分析. 干旱区地理, 2013, 36(2): 228-237.]
- [21] Li Jun, Yang Qing, Shi Yuguang. Spatial distribution of precipitation using DEM in Xinjiang, China. *Arid Land Geography*, 2010, 32(6): 868-873. [李军, 杨青, 史玉光. 基于DEM的新疆降水量空间分布. 干旱区地理, 2010, 32(6): 868-873.]
- [22] Pu Zongchao, Zhang Shanqing, Bin Jianhua et al. Dry-wet climate elements spatial-temporal variation analysis in Urumqi-Changji Region of Xinjiang. *Resources Science*, 2011, 33(12): 2314-2322. [普宗朝, 张山清, 宾建华等. 新疆乌鲁木齐地区干湿气候要素时空变化分析. 资源科学, 2011, 33(12): 2314-2322.]
- [23] Pu Zongchao, Zhang Shanqing, Bin Jianhua et al. Analysis of fine spatial-temporal variation of agroclimatic heat

- resource in Urumqi-Changji region of Xinjiang. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2011, 32(4): 598-606. [普宗朝, 张山清, 宾建华等. 新疆乌鲁木齐地区热量资源精细化时空变化分析. *中国农业气象*, 2011, 32(4): 598-606.]
- [24] Wei Fengying, Cao Hongxing. Geostatistics and its application to meteorological studies. *Meteorological Monthly*, 2002, 28(12): 3-5. [魏凤英, 曹鸿兴. 地统计学分析技术及其在气象中的适用性. *气象*, 2002, 28(12): 3-5.]
- [25] Authoring Committee of China Natural Resources Series. *China Natural Resources Series: Climate*. Beijing: China Environmental Science Press, 1995: 337-340. [中国自然资源丛书编撰委员会. *中国自然资源丛书: 气候卷*. 北京: 中国环境科学出版社, 1995: 337-340.]
- [26] Ma Yu, Wang Xu, Huang Zhen et al. Change in space-time distribution of sand-dust and influence of climatic factors. *Arid Land Geography*, 2006, 29(2): 178-185. [马禹, 王旭, 黄镇等. 新疆沙尘天气的演化特征及影响因子. *干旱区地理*, 2006, 29(2): 178-185.]

## The spatial-temporal variation of sunshine duration in Xinjiang during 1961–2010

ZHANG Shanqing<sup>1</sup>, PU Zongchao<sup>2</sup>, LI Jinglin<sup>1</sup>

(1. *Xinjiang Agrometeorological Bureau, Urumqi 830002, China;*

2. *Urumqi Meteorological Bureau of Xinjiang, Urumqi 830002, China*)

**Abstract:** Based on the monthly sunshine duration, total cloud cover and low cloud cover data during 1961-2010 from 101 meteorological stations in Xinjiang, the spatial-temporal change characteristics of seasonal and annual sunshine duration, and the connection between annual sunshine duration with total cloud cover and low cloud cover were analyzed by using the methods of linear regression, Mann-Kendall test, three-dimensional quadratic trend surface simulation and Kriging residual error revision based on GIS. The main results are obtained as follows. (1) There was an obvious regional difference in climatic distribution of seasonal and annual sunshine duration, generally, the sunshine duration of spring increased from the southwest to northeast. In summer, the sunshine duration was longer in the northern and eastern parts than in the southern and western parts, and it was longer in plain and valley than in mountainous areas. Autumn sunshine duration increased southeast to northwest, and in winter it increased from west to east in Xinjiang. Affected by their joint effect, the annual sunshine duration increased from west to east, mountainous areas to plain and valley in Xinjiang. (2) The changing trend of spring sunshine duration was not significant, but that of the summer, autumn, winter and annual sunshine duration showed a significant decreasing trend with the rate of  $-4.27 \text{ h} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,  $-4.30 \text{ h} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,  $-14.36 \text{ h} \cdot (10\text{a})^{-1}$  and  $-19.42 \text{ h} \cdot (10\text{a})^{-1}$  respectively in recent 50 years, and summer, autumn, winter and annual values had mutations in 1988, 1986, 1987 and 1982, respectively, but there were regional differences before and after mutations. For example, the annual sunshine duration increased in Turpan-Hami Basin and southern Tarim Basin, while it showed a decreasing trend in most parts of Xinjiang, especially in Junggar Basin, areas along the Tianshan Mountains, central and eastern parts of Tarim Basin. (3) The cloud cover was the main factor influencing sunshine duration in Xinjiang. On the whole, the areas with less total and low cloud cover have relatively much sunshine duration, and vice versa. In recent 50 years, the total amount of cloud did not change significantly, but low cloud cover increased significantly, which was the main cause for the decrease of sunshine duration in Xinjiang.

**Key words:** Xinjiang; sunshine duration; spatial-temporal change; ArcGIS