

文章编号: 1008-2786-(2018)5-709-13

DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000367

1960—2014 年祁连山日照时数时空变化特征

付建新^{1,2}, 曹广超^{1,2*}, 李玲琴^{1,2}, 唐仲霞^{1,2}, 杨晓敏^{1,2}

(1. 青海师范大学 青海省自然地理与环境过程重点实验室, 西宁 810008; 2. 青海师范大学 地理科学学院, 西宁 810008)

摘 要: 基于祁连山区及其周边气象台站的日照时数数据, 利用 M-K 突变检验法、滑动 t 检验法、Morlet 小波分析方法与 ARCGIS 空间分析方法对祁连山东段、中段与西段 1960—2014 年期间的日照时数时空特征以及影响因素进行了分析。结果表明: 祁连山区的多年平均日照时数整体上表现出下降态势, 其中东段下降最快; 日照时数年内变化 5 月出现最大值, 这与该月的天气多晴天有关; 夏季与冬季的日照时数突变在四季中表现得最明显, 突变开始的年份分别为 2000 年与 1983 年; 日照时数振荡周期可能为 28 年。祁连山区年日照时数整体上呈现东南低西北高的分布规律; 夏季与冬季各区段的日照时数均为下降态势; 祁连山区日照时数的主要影响因素为水汽压、云量、年降水量以及相对湿度。

关键词: 祁连山; 日照时数; 时空变化; 分区段

中图分类号: K28.3; P461

文献标志码: A

日照时数是反映气候变化尤其是太阳辐射的最重要气象要素之一, 太阳辐射会对大气环流等造成影响。IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 报告指出未来全球变暖是不变的趋势。太阳能资源是无污染、清洁能源, 并且日照时数对农、林、牧、渔等产业与人类的生产生活有极其重要的影响与意义。大气污染物的过量排放使得到达地球表面的太阳辐射减少^[1-2], 所以日照时数的变化能反映出大气的污染程度^[3]。祁连山区是甘肃省、青海省两省重要的水源涵养保护区, 日照时数的变化直接会对当地植被等生态环境造成影响^[4,5], 进而影响当地的生态环境, 通过对祁连山地区日照时数变化的可以为探究祁连山的生态系统等奠定基础, 所以对祁连山日照时数的研究具有重要的意义^[5]。

诸多学者对不同空间尺度(国家^[6-7]、区

域^[8-10]、流域^[11]、省级^[12-14]、市级^[15-17]等)的日照时数时空特征做了研究, 认为日照时数整体上为下降趋势, 这与人类排放的气溶胶浓度增加有关^[18-20], 以上研究均为祁连山区之外的其他区域研究。对于祁连山区日照时数的研究主要有, 选取少量气象站点进行了日照时数的突变检验与周期测算^[21]; 基于流域尺度对日照时数的时空特征进行分析^[22-23], 前人对于祁连山区日照时数的研究侧重于趋势分析, 在站点的选取上不够全面, 并且对祁连山区各个分区段的日照时数整体与对比分析研究较少。本文基于祁连山及其外围共 22 个气象站点的日照时数数据, 利用多种数学方法与 ARCGIS 软件对祁连山区及其各区段日照时数的时间序列与空间分布做了研究, 并分析了影响祁连山区日照时数的因素。此研究为了解祁连山地区气候变化与气候资

收稿日期 (Received date): 2018-04-14; **改回日期** (Accepted date): 2018-09-11

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金项目(41361005); 国家重点研发计划项目(2017YFC0404304)。[National Natural Science Foundation of China(41361005); National Key Research and Development Program of China(2017YFC0404304)]

作者简介 (Biography): 付建新(1980-), 男, 山西大同人, 博士研究生, 研究方向: 环境地表过程与生态响应研究。[FU Jianxin(1980-), male, born in Datong, Shanxi province, Ph. D. candidate, research on environmental surface processes and ecological response] E-mail: fujx@163.com

*** 通讯作者** (Corresponding author): 曹广超(1971-), 男, 山东苍山人, 教授, 博士生导师, 主要从事青藏高原地区环境变化与地理信息系统应用研究。[CAO Guangchao(1971-), male, born in Cangshan, Shandong province, professor, research on environmental change and application of geographic information system in Tibet Plateau] E-mail: caoguangchao@126.com

源的开发提供一定的参考价值,对太阳能资源的开发、工农业的发展以及人类其他生产活动具有重要的意义。

1 数据来源与研究方法

祁连山区(图1)位于青藏高原与河西走廊交界地带,地处青甘交界处,是由一系列东南—西北走向的山脉组成,海拔 2257 ~ 5235 m,是我国西北地区重要的地理分界线之一^[5,24],祁连山区东西跨度约 850 km,南北宽约 200 ~ 300 km,文中定义祁连山的范围是西起当金山口,东至乌鞘岭,祁连山东中西段的气候成因不同,所以文中将祁连山区分为西段、中段、东段,西段包括党河南山、哈勒腾河谷地、大察汗鄂博图岭、土尔根达坂山、鱼卡河谷地、大小柴旦盆地,代表性气象站点为大柴旦、德令哈;中段包括走廊南山、黑河谷地、托勒山、北大河谷地、托勒南山、疏勒河谷地、疏勒南山、哈拉湖—布哈河谷地、青海南山、茶卡盆地,代表性气象站点为祁连、野牛沟、托勒、刚察、茶卡、都兰、恰不恰;东段包括冷龙岭、大通河谷地、大通山—达坂山、湟水谷地、拉脊山,代表性气象站点为西宁、乌鞘岭、门源、民和;祁连山的垂直地带性明显,具有高原大陆性气候特征^[5,25]。祁连山区是我国西北地区与青藏高原重要的水源涵养林区,其为该区域经济—社会—生态复合系统提供了水资源^[26],全球气候变化必然会影响到该区整个系

统,日照时数作为气候要素之一,根据地理环境整体性原理,日照时数变化会引起整个系统的变化,所以通过研究祁连山的日照时数可以为进一步研究该区复合系统提供基础数据。

本文数据源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>),选取了 1960—2014 年祁连山区 13 个气象站点的日照时数数据,为了使得插值效果更加准确,所以又选取了祁连山外围 9 个气象站点共 22 个气象站点的日照时数数据,为保证研究结果的准确性,对数据进行一致性检验验证,对区域内平均日照时数序列与各站点日照时数的原始序列的相关性进行了检测,相关系数均在 0.793 以上,说明日照时数数据表现出较高的空间相关性,所以数据不仅能反映各站点的日照时数变化,同时也能反映出区域内的气候变化;文中主要研究方法为相关分析、Mann-Kendall 与滑动 t 检验^[27-28]法、matlab 小波分析^[29],利用 ARCGIS10.0 对日照时数空间变化做插值制图分析,对于文中显著性检验,使用 SPSS 统计学软件中的相关性分析模块,对时间序列与原序列变量之间的相关系数进行不同程度的显著性检验($P < 0.05$, $P < 0.01$, $P < 0.001$)。

2 日照时数的时间序列变化

2.1 月变化

祁连山区各区段日照时数的月变化曲线表现出

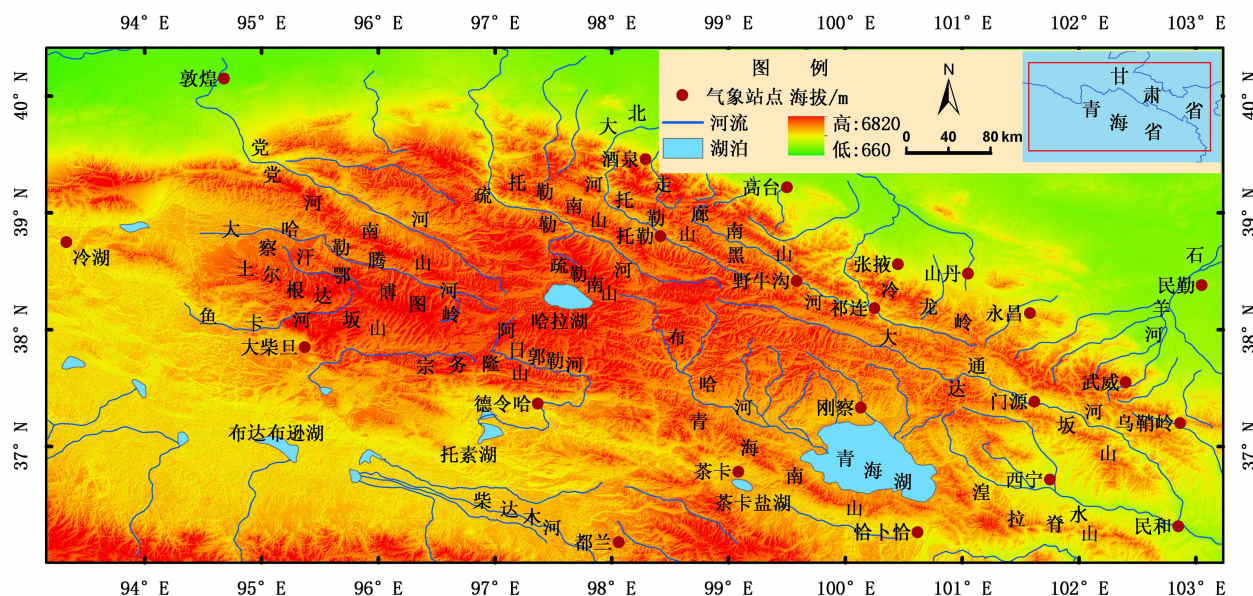


图1 祁连山各区段气象站点分布

Fig. 1 Distribution of meteorological stations in each section of Qilian Mountains

波状起伏变化趋势(图2),整体上1、2、12月的日照时数较低,2—5月不断上升,之后波动下降,5、6、7、8月日照时数较高;西段的日照时数各月均高于其他区段,其均值为260.53 h,东段的日照时数均值最小,为214.32 h,东段9月的日照时数最低,为181.24 h,主要因为东段9月受东南季风的影响,加上地形的抬升,降水丰富,阴雨天气多,所以日照时数最低;东段的日照时数月均值小于全区的均值,中段与西段则高于全区的均值;从各个月来看,5月的日照时数最高,由于5月份太阳高度角较大,昼长大于夜长,虽然6月初到7月上旬的太阳高度角与昼长都比5月的大,但是6月降水增多,阴雨天气变多,进而加强了大气层对太阳辐射的削弱作用,所以

日照时数会减少;东段的日照时数月变化表现出减少趋势,中段与西段均为上升趋势,全区变化不大。

2.2 年际变化

由(表1)1960—2014年祁连山区的多年平均日照时数整体上为下降趋势,变化率为 -2.68 h/a ,与中国大部分省区的日照时数变化一致,与甘肃^[30]日照时数变化趋势相反;不同区段变化趋势有所差异,东段下降最快,中段下降最慢;西段的最大值为祁连山区多年平均日照时数的最大值,出现在1997年,东段的最小值(2355.33 h)为祁连山区多年平均日照时数的最小值,出现在2007年,东段的极差最大,为465.90 h,全区与各区段均通过了显著性检验;13个站点的变化趋势也不同(表2),除了东段

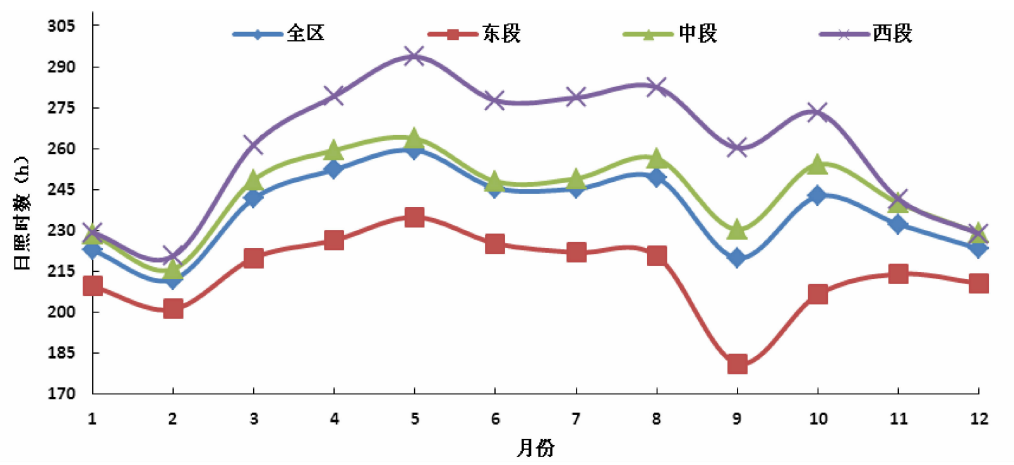


图2 祁连山各区段日照时数月变化

Fig. 2 Monthly variation of sunshine duration in each section of Qilian Mountains

表1 祁连山各区段平均日照时数的变化

Tab. 1 Annual variation of the sunshine duration in each section of Qilian Mountains

	倾向率/($\text{h} \cdot \text{a}^{-1}$)	最大值/h	最小值/h	极差/h	通过显著性检验
东段	-3.98	2821.23(1963)	2355.33(2007)	465.90	$P < 0.001$
中段	-1.80	3070.91(1997)	2760.89(2009)	310.03	$P < 0.01$
西段	-2.49	3418.35(1997)	2919.05(2002)	399.30	$P < 0.001$
全区	-2.68	3008.93(1965)	2708.48(2009)	300.45	$P < 0.01$

表2 祁连山各气象站点平均日照时数的变化

Tab. 2 Annual variation of the sunshine duration in meteorological stations of Qilian Mountains

站点	趋势	倾向率/($\text{h} \cdot \text{a}^{-1}$)	显著性检验	站点	趋势	倾向率/($\text{h} \cdot \text{a}^{-1}$)	显著性检验
西宁	减少	-6.43	$P < 0.001$	大柴旦	减少	-0.85	没有通过
乌鞘岭	增加	2.25	$P < 0.05$	德令哈	减少	-4.35	$P < 0.001$
门源	减少	-4.56	$P < 0.001$	都兰	减少	-2.67	$P < 0.01$
民和	减少	-7.17	$P < 0.001$	刚察	减少	-2.92	$P < 0.001$
祁连	减少	-2.23	$P < 0.01$	茶卡	减少	-4.44	$P < 0.001$
野牛沟	减少	-0.40	没有通过	恰不恰	减少	-1.06	没有通过
托勒	增加	1.30	没有通过				

的乌鞘岭、中段的托勒站点为增长趋势,其余站点均有不同程度的下降,其中处于东段的西宁下降最快,增长趋势的站点占到全部站点的 15.38%,减少趋势的站点占到全部站点的 84.62%,使得祁连山区整体变化趋势为下降趋势,通过显著性检验的站点所占比重为 69.23%。

2.3 M-K 突变检验

春季:(图 3a)UF 和 UB 的交点有 2 个,均在临界值 ± 1.96 之间,分别为 1963、1983 年,所以并不能确定突变的年份,结合滑动 t 检验,当 $n_1 = n_2 = 10$ 时,通过了 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平检验,确定 1983 年为突变开始年份,但是之后并没有超过临界线,所以突变并不明显;夏季:(图 3b)UF 和 UB 的交点在临界线之内,出现在 1998 年与 2000 年,结合滑动 t 检验,当 $n_1 = n_2 = 5、10$ 时,通过了 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平检验,确定 2000 年为突变开始年份,UF 曲线

从 1971 年开始低于 0,表现为下降趋势,在 2002 年低于临界值,下降趋势更加明显,2002—2014 年为突变区域;秋季:(图 3c)UF 和 UB 的交点出现在 2003 年、2011 年、2012 年,结合滑动 t 检验,当 $n_1 = n_2 = 2$ 时,超过了 0.01 显著性水平 ($t_{0.01} = 5.84$),可以确定为 2003 年为突变开始的年份,但是之后没有超过临界线的范围,所以突变并不明显;冬季:(图 3d)UF 曲线在 1968 年开始低于 0,出现下降趋势,UF 和 UB 的交点为 2 个,分别为 1981 年与 1983 年,结合滑动 t 检验,当 $n_1 = n_2 = 5、10$ 时,通过了 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平检验,确定 1983 年为突变开始年份,之后下降趋势较明显,UF 线在 1990 年超过了临界线,下降趋势愈加明显,突变时间段为 1990—2014 年;全年:(图 3e)UF 和 UB 的交点出现在 1998 年,并且在临界值 ± 1.96 之间,确定 1998 年为突变开始的年份,在 2002 年低于临界值,下降趋

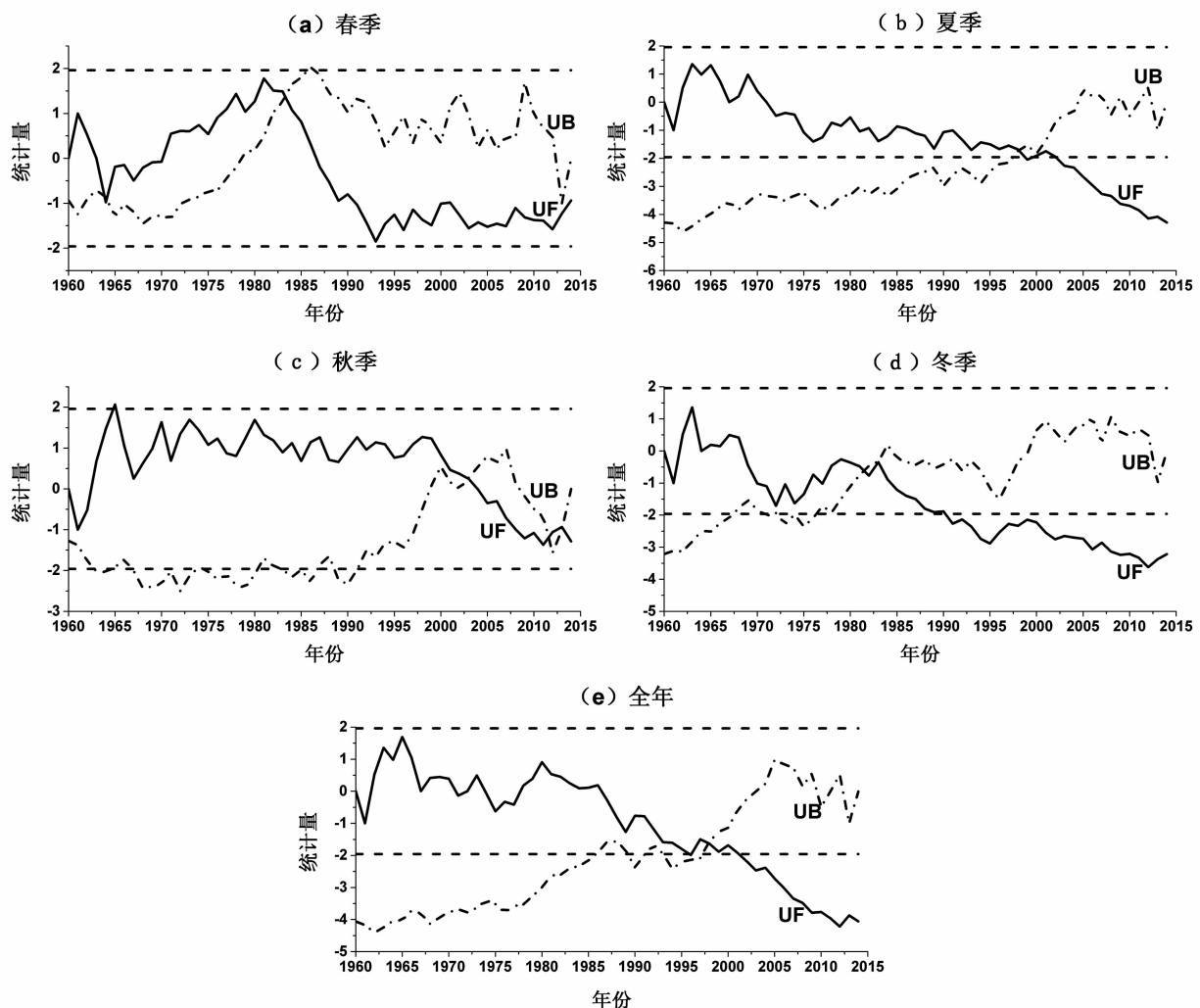


图 3 祁连山日照时数突变检验

Fig. 3 The abrupt change of sunshine duration in Qilian Mountains

势更加明显。

2.4 年代际变化

55 年来祁连山日照时数的年代际变化表现为(表 3),20 世纪 60 年代日照时数最多,2000—2009 年最少;60 和 70 年代日照时数为增加趋势,80 年代剧烈下降,90 年代与 2000 年之后下降趋缓,这与刘义花等的研究结论基本一致^[31];1960—2009 年采用了年代际距平,而 2000—2014 年采用了年际距平。(分区段距平计算同理)60 年代日照时数年代际距平为正,远高于全区多年平均值,日照时数非常丰富,70 年代与 90 年代日照时数年代际距平均为正,日照时数较为丰富且接近,80 年代与 2000—2009 年日照时数年代际距平均为负,尤其 2000—2009 年日照时数年代际远低于全区多年平均值,日照时数偏少最大。2010—2014 年日照时数年际距平除了 2013 年为正,其余年份日照时数年际距平均为负。

从分区段来看,55 年来祁连山区西段的年代际日照时数一直是最多的,东段、中段 60 年代的日照时数均最大,西段 70 年代的日照时数最大;20 世纪 60 年代东段、中段、西段日照时数年代际变化均为正距平,日照时数丰富;2000—2009 年东段、中段、西段日照时数年代际变化均为明显的负距平,日照时数匮乏;2010—2014 年各区段日照时数年际变化以负距平为主。从各个区段变化趋势来看,东段 60 年代为增加的趋势,之后下降趋势愈来愈来明显;中段与全区 60 与 70 年代为增加趋势,之后表现出下降态势;西段波动变化。

2.5 日照时数的周期

以年份为横坐标和时间尺度为纵坐标绘制了年日照时数小波系数的等值线图(图 4a),图中用不同的颜色表示正负差异。从图中可以看出在 25 ~ 28 年时间尺度上存在明显的周期振荡,分别表现为低、

高、低、高、低,出现的时间分别为 1970 年前后、1979 年前后、1988 年前后、1997 年前后、2006 年前后,表现出 3 个低值区与 2 个高值区交替出现。通过小波系数模等值线图(图 4b)可以看出不同时间尺度上的能量密度值^[32],值越大,表示周期越明显,25 ~ 28 年的模值最大,说明其周期变化最为明显。

根据小波系数方差图(图 5a)可以确定变化过程中 28 年为主周期,但是由于研究时段为 55 年,所以周期准确性还有待进一步研究,但是从小波分析可以看出,研究时段内没有发现其他周期存在,所以 28 年周期可能性最大。对 28 年主周期的变化趋势做了分析(图 5b),平均变化周期为 18 年,大致为 3 个高低周期变化。

3 日照时数的空间分布

3.1 年空间变化

对 22 个气象站点的年平均日照时数进行克里金(Kriging)插值(图 6),可以看出,祁连山区年日照时数整体上表现出由东南向西北递增的趋势,其变化的走向基本上与山脉的走向一致,因为祁连山区的降水由东南向西北递减,云量由东南向西北递减,大气层对太阳辐射的削弱作用由东南向西北变弱,说明日照时数的空间分布与云量分布相反^[33];东段为低值区,年均日照时数在 2450 ~ 2900 h 之间,西段为高值区,数值范围为 3000 ~ 3500 h,西段的冷湖站年日照时数最大,高达 3440.44 h,每天达 9.43 h,这与陈少勇等^[34]研究的结论基本一致,东段的民和站年日照时数最小,仅为 2451.50 h,这与刘义花等对青海日照时数的研究中民和站的日照时数最小一致^[31],平均每天为 6.72 h,极差为 988.94 h。

表 3 祁连山各区段平均日照时数年代际变化

Tab. 3 Interannual variation of sunshine hours in different sections of Qilian Mountains

时段	东段			中段			西段			全区		
	日照 时数/h	距平	趋势 /(h · a ⁻¹)	日照 时数/h	距平	趋势 /(h · a ⁻¹)	日照 时数/h	距平	趋势 /(h · a ⁻¹)	日照 时数/h	距平	趋势 /(h · a ⁻¹)
1960—1969	3016.17	36.45	3.55	2956.43	21.50	0.51	3171.82	6.35	4.42	2902.43	38.59	2.04
1970—1979	2970.06	-9.66	-1.20	2949.60	14.66	1.94	3222.82	57.35	3.57	2897.35	16.19	6.07
1980—1989	2978.27	-1.46	-2.73	2945.05	10.11	-1.83	3157.76	-7.71	-3.28	2853.89	-11.67	-4.20
1990—1999	3005.78	26.06	-2.83	2949.88	14.94	-1.63	3201.85	36.38	-2.02	2856.93	18.67	-2.06
2000—2009	2928.35	-51.39	-3.34	2873.72	-61.21	-2.11	3073.09	-92.38	0.75	2786.01	-41.19	-1.41

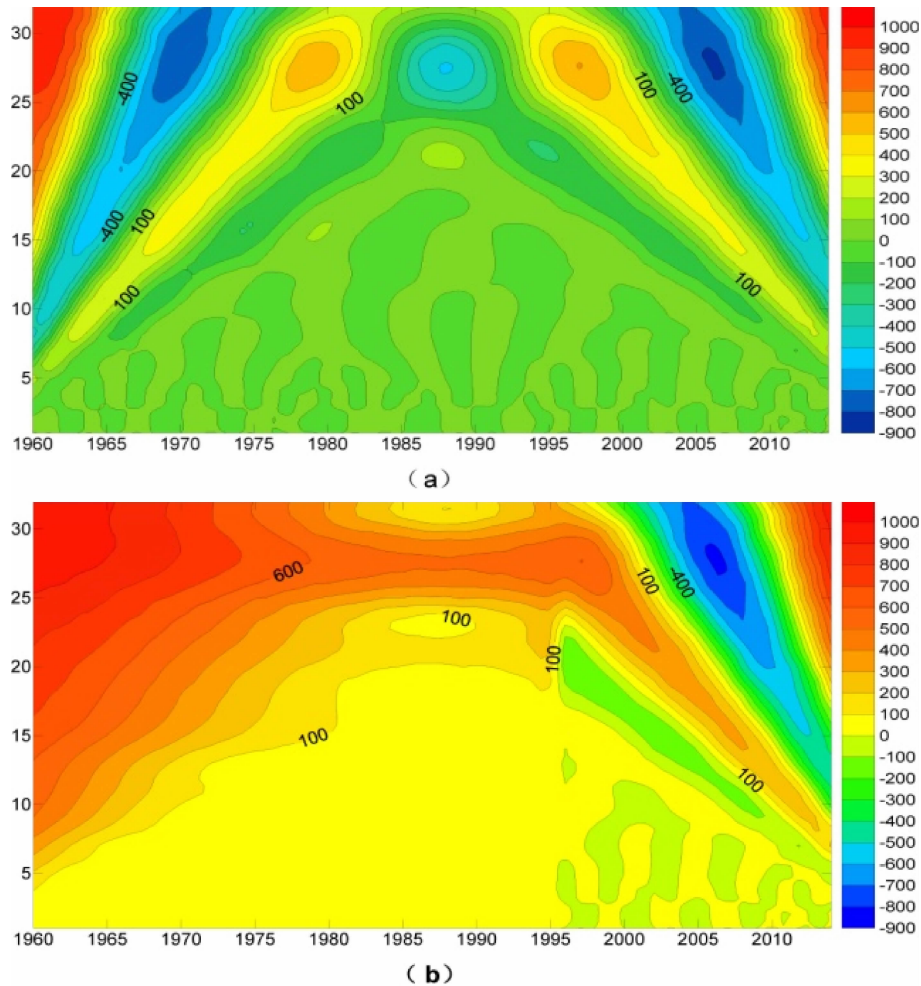


图4 祁连山日照时数 Morlet 小波系数与模值

Fig.4 Morlet wavelet coefficients and modulus value of sunshine duration in Qilian Mountains

3.2 季节空间分布

通过(图7)可以得到,祁连山区四季日照时数整体上表现为西北多,东南少,夏季的日照时数最大,其范围为620~980 h,均值为791.16 h,冬季最小,为560~740 h,均值为664.15 h,整体上由大到小依次为夏季、春季、秋季、冬季,这与秦岭四季日照时数变化一致^[35],夏季与太阳高度角大,白昼时间长有关,冬季与居民取暖等导致大气层中的气溶胶含量多,削弱一定的太阳辐射。但是民勤站点由于特殊的地理环境,使得其春季日照时数高于冬季,民勤虽然春季沙尘暴天气多发,大气层中的气溶胶含量多,此原因并不影响民勤春季日照时数高的特征,因为民勤地处沙漠地带,裸露的下垫面通过长波辐射将大量的太阳辐射传递给近地面大气,所以春季升温迅速,空气湿度小,晴天多,导致春季日照时数高。当然这也与近年来沙尘与扬沙天气减少有

关^[36],使得民勤春季日照时数高;各区段日照时数存在差异,夏季的西段日照时数最高,范围在800~980 h之间,均值为903.87 h,夏季的冷湖站日照时数为最大,为966.74;秋季东段日照时数最低,在560~650 h之间,最低均值为601.79 h,冬季东段也较低,为621.20 h;各区段日照时数变化也存在差异:东段日照时数从春季到秋季下降明显,冬季又缓慢上升,中段日照时数春季到夏季为缓慢上升趋势,之后一直为下降趋势,西段日照时数从春季到夏季缓慢上升,再到秋、冬季迅速下降。

3.3 年代际空间分布:

通过(图8)可以得出,各站点年代际日照时数整体上由东向西递增,尤其东南部一直为低值区,20世纪60年代最高,70、80年代逐渐下降,90年代又上升,到2000—2014年迅速下降到最低;东段的日照时数从20世纪60年代起一直处于下降态势,到

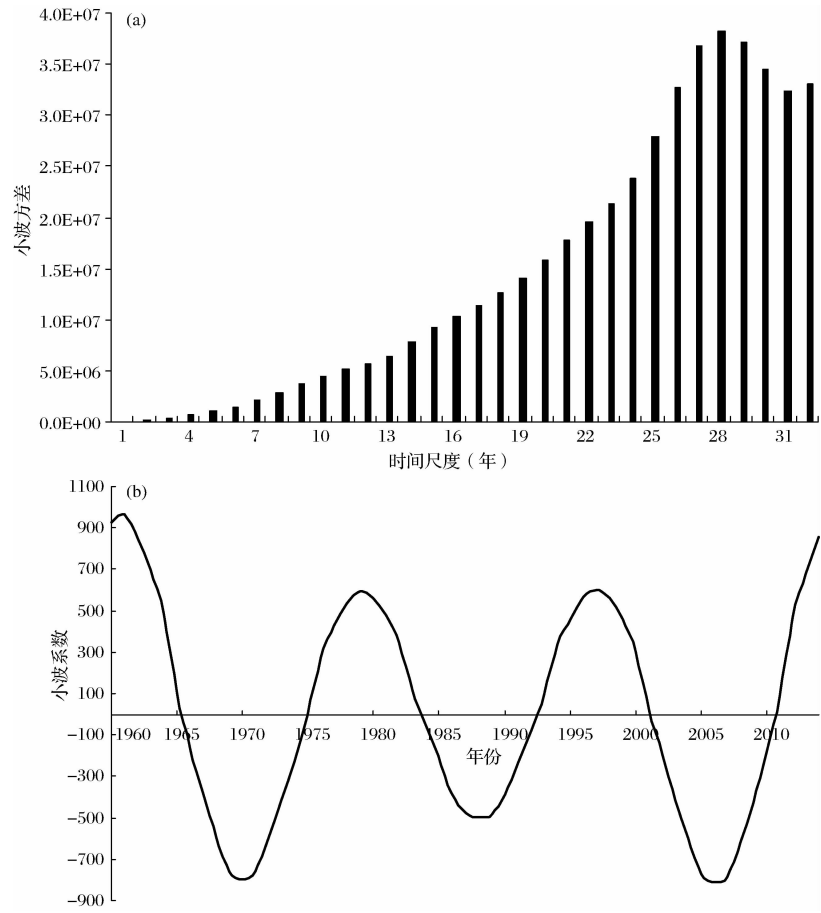


图 5 祁连山日照时数 Morlet 小波系数方差与主周期变化趋势

Fig. 5 The wavelet variance and primary period of sunshine duration in Qilian Mountains

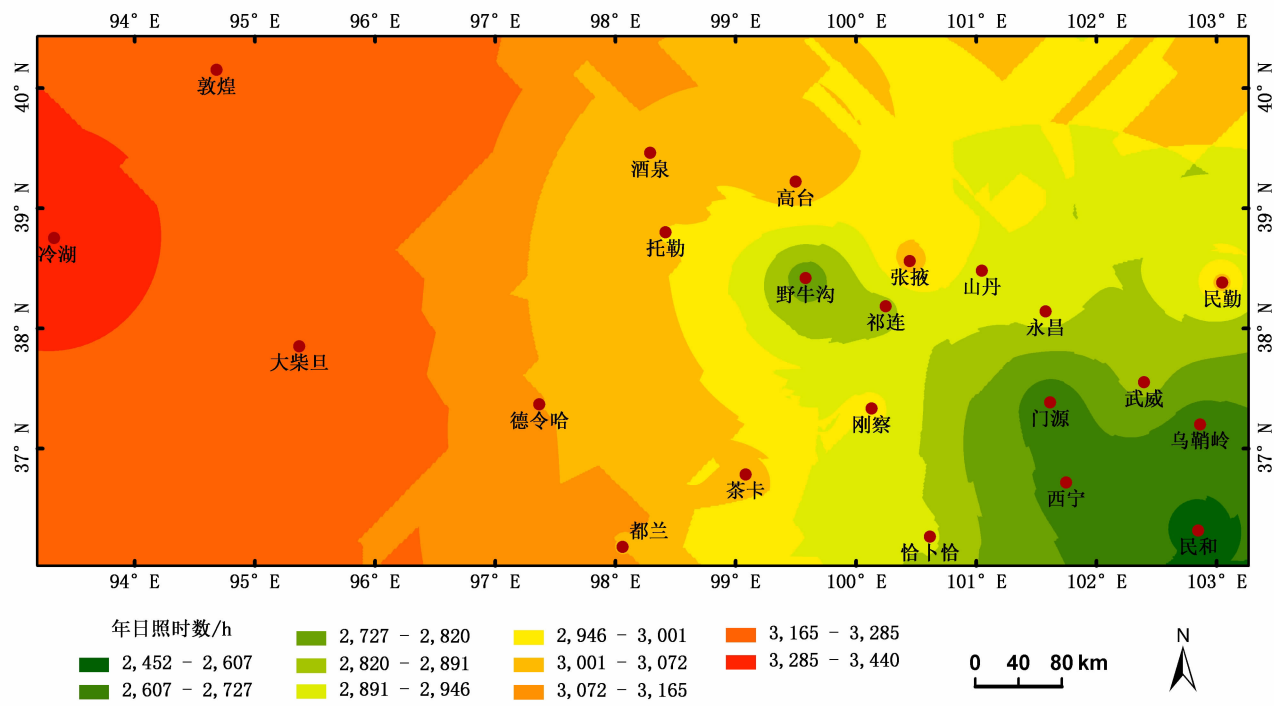


图 6 祁连山日照时数年际空间分布

Fig. 6 Interannual spatial distribution of sunshine duration in Qilian Mountains

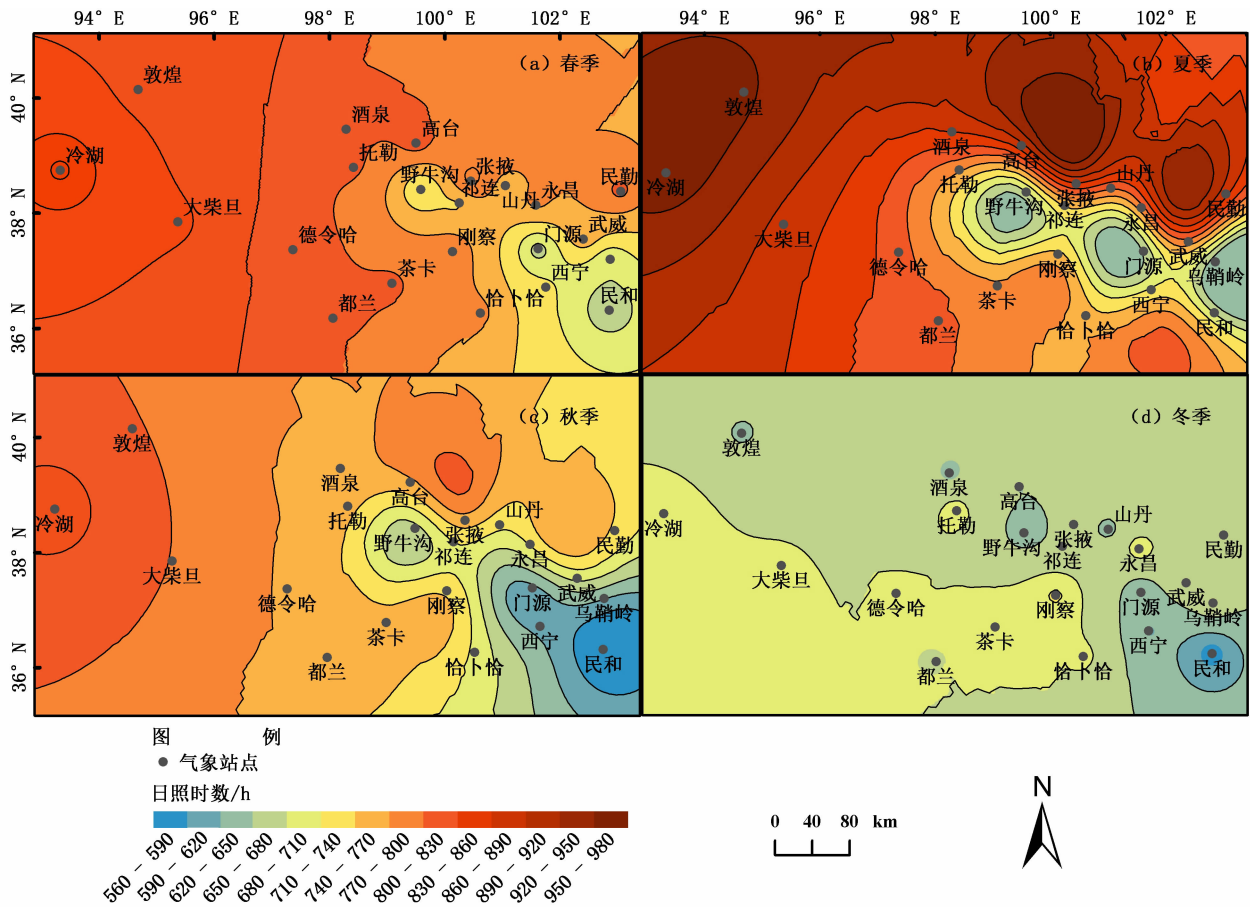


图 7 祁连山日照时数季节空间分布

Fig. 7 Seasonal spatial distribution of sunshine duration in Qilian Mountains

2000—2014 年下降为最低,为 2509.77 h,东段是各区段中日照时数最低的区域;中段日照时数从 60 到 70 年代为下降趋势,到 80 年代又升高,到 90 年代基本不变,到 2000—2014 年又迅速下降;西段日照时数 60—70 年代缓慢降低,到 80 年代快速下降,到 90 年代又出现反弹,到 2000—2014 年继续升高,各区段不同年代日照时数中,西段一直维持在最高值;各站点中民和站基本上处于各个年代日照时数的最低值(60 年代为乌鞘岭),90 年代的民和站也是全区段最低值,为 2340.65 h,冷湖站的日照时数是各个年代(除了 90 年代)中最高值,这与华维等对青藏高原中冷湖日照时数的研究结论一致^[37]。

4 日照时数的影响因素

大量研究表明日照时数的变化与多种因素有关,主要为云量、水汽压、降水量、风速等^[31,35-37]。对各项分析的原始数据进行标准化处理,然后计算

出它们之间的相关系数(表 4),并且进行了显著性检验。

日照时数与水汽压之间表现出负相关,尤其东段最为显著,所以水汽压的增加是日照时数降低的主要因素。日照时数与云量呈负相关,日照时数与低云量比与总云量的相关性强,云量对太阳光线具有反射、吸收等作用,可以有效减少太阳光线的透过率和到达地球表面的日照时数;北坡的日照时数与云量相关性不强,说明北坡云量对其日照时数的变化影响不大,北坡干旱少雨,晴天多,可能与北坡多沙尘天气有关。

降水量表现出明显增长趋势,日照时数为缓慢下降趋势,符合降水量多的年份日照时数少的规律,日照时数与年降水量呈现负相关,全区的相关系数为 -0.681 ,不同的降水类型对日照时数有不同的影响,其中连续性降水比阵型降水对日照时数的影响更大^[31];日照时数与降水量呈现负相关,日照时数受降水量的影响较大,有的学者认为降水量减少,清

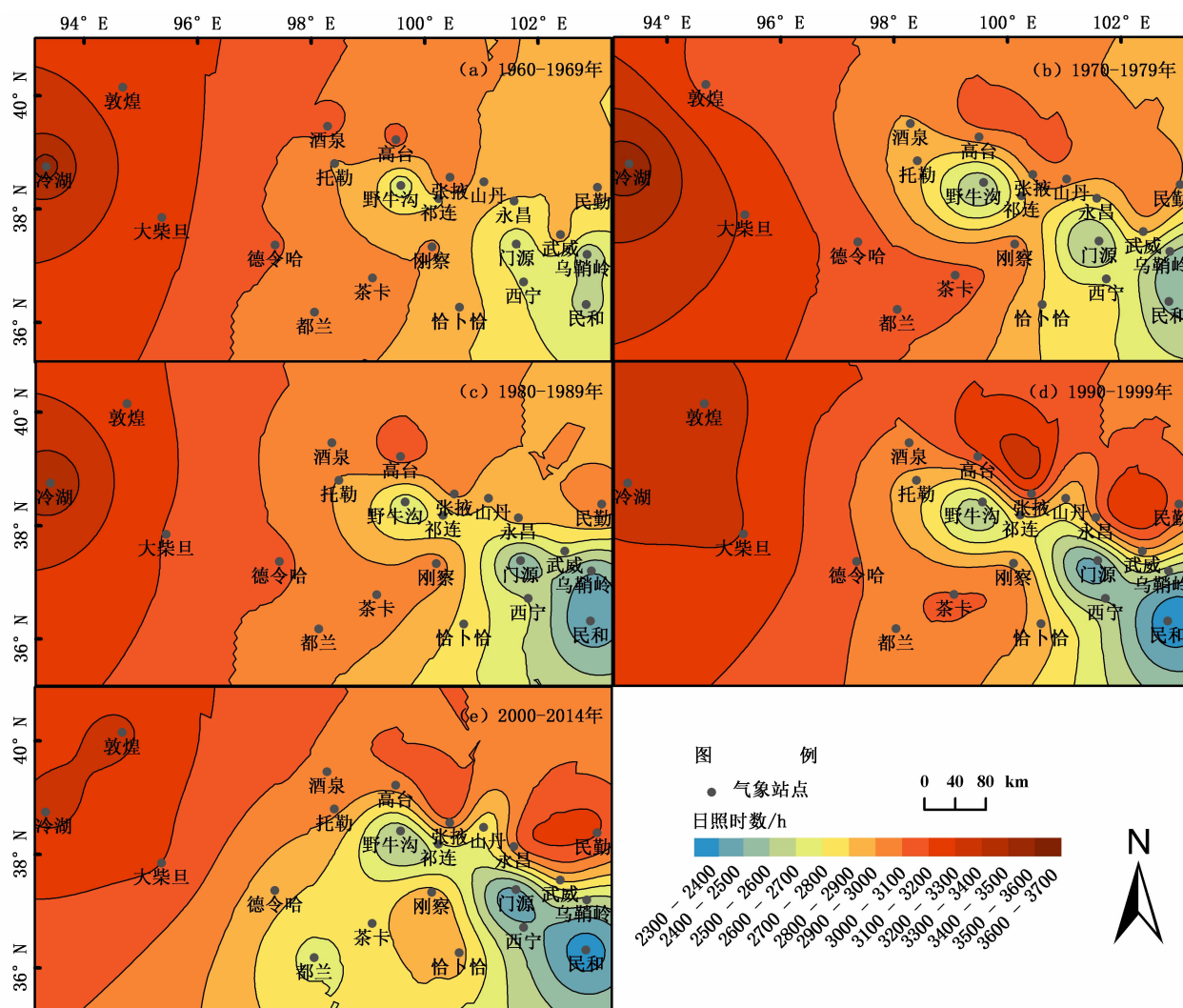


图8 祁连山年代际日照时数空间分布

Fig. 8 Spatial distribution of interdecadal sunshine hours in Qilian Mountains

洁大气的作用增强,大气能见度变好,可以接收更多的太阳辐射,有利于日照时数的增加^[38]。但是也有学者认为太阳辐射与降水量表现为正相关的关系^[39]。

日照时数与相对湿度呈现负相关,全区的相关系数为 -0.397 ,在气溶胶颗粒不发生沉降时,相对湿度增大有利于气溶胶颗粒的粒径增大并在空气中滞留,污染物浓度增大,进而降低太阳辐射^[40]。

日照时数与平均风速(北坡除外)呈现正相关,全区的相关系数为 0.203 ,平均风速对日照时数的影响,平均风速较小时,大气中的气溶胶浓度增大,进而减弱到达地球表面的太阳辐射;从区段来看,各区段的平均风速对东段日照时数的影响较其他区段大,对北坡影响最小。

日照时数与降水量的相关性均通过了显著性检

验,与平均风速的相关性只有东段与南坡通过了检验,与相对湿度的相关性除了中段没有通过检验,其余均通过了检验。

5 祁连山地区与其他地区日照时数的比较

与全国及西北、青海、甘肃与青藏高原其他地区日照时数的年际变化进行比较(表5),祁连山日照时数年际变化趋势与全国、西北、西藏、青海等地同为下降趋势,与西北地区的较为接近,比全国、西藏、青海以及柴达木盆地日照时数的下降趋势慢;与甘肃、三江源地区及石羊河流域的日照时数变化趋势相反。

表 4 祁连山分区段日照时数与其他气象要素的相关系数

Tab. 4 The correlation coefficient of sunshine duration and other meteorological elements in each section of Qilian Mountains

	东段	中段	西段	北坡	南坡	全区
水汽压	-0.674 * * *	-0.406	-0.538 * *	-0.350	-0.127 * *	-0.527 * *
总云量	-0.082 * * *	-0.085 * * *	-0.312 * *	-0.002 * * *	-0.146	-0.213 * * *
低云量	-0.183 *	-0.213 * * *	-0.462 *	-0.008 * * *	-0.187 * * *	-0.245 * * *
降水量	-0.517 * * *	-0.532 * * *	-0.640 * * *	-0.365 * *	-0.692 * * *	-0.681 * * *
平均风速	0.544 * * *	0.132	0.261	-0.0247	0.474 * * *	0.203
相对湿度	-0.543 * * *	-0.188	-0.330 *	-0.372 * *	-0.441 * *	-0.397 * *

、 *、* * * 分别表示通过了 $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$ 、 $P < 0.001$ 的显著性检验。

表 5 不同地区日照时数的对比

Tab. 5 Comparison of sunshine duration in different areas

地区	年际变化趋势/(h · a ⁻¹)	多年平均值/h	参考文献
中国	-3.755		[6]
西藏	-3.41	1500~3500	[37]
西北	-1.360	2718.0	[8]
甘肃	0.117	2724.7	[30]
青海	-2.357	2351.5~3397.7	[31]
柴达木盆地	-4.06	2666.4~3576.0	[39]
三江源地区	0.424	2602.8	[40]
石羊河流域	0.816	2816.1	[22]
本文	-1.573	2950.9	

6 结语

(1)祁连山区各区段日照时数的月变化曲线整体上呈现出波状起伏变化趋势,5 月的日照时数最高;多年平均日照时数与全国大部分地区的趋势一致为下降趋势;20 世纪 60 年代日照时数最丰富,70 与 90 年代日照时数较丰富,进入 21 世纪后日照时数最贫乏。

(2)夏季与冬季的突变明显,突变开始的年份分别为 2000 年与 1983 年,全年突变开始的年份是 1998 年;通过小波分析确定日照时数的周期为 28 年。

(3)祁连山区年日照时数整体上表现出东南少,西北多的趋势,祁连山区日照时数四季变化表现为夏季最大,冬季最小的态势。夏季日照时数最大,与夏季太阳高度角大有关,夏季(6-8 月)太阳辐射

经过大气层距离短,到达地表单位面积的太阳辐射多;冬季日照时数最小,与冬季大气层中气溶胶含量多有关,但是个别站点原因个别对待,比如民勤站点由于特殊的地理环境,导致春季升温快,通过长波辐射传递给大气的太阳辐射多,导致春季日照时数大,这也与近年来沙尘天气减弱有关;20 世纪 60 年代日照时数最多,2000—2014 年最少;祁连山区西段的年代际日照时数一直是最多的,这与当地处于内陆的地理位置、以晴天为主等因素有关。

(4)祁连山区年日照时数整体上表现出东南多、西北少的趋势,主要因为祁连山区的降水由东南向西北递减,云量由东南向西北递减造成的;春季日照时数上升的站点略多于下降趋势的站点,夏季、秋季、冬季日照时数以下降的站点居多,上升趋势主要表现在春季的北坡与西段;东段是各区段年代际日照时数中最低的区域,西段是各区段中最高的区域。

(5)水汽压、云量与降水是影响祁连山日照时数多少的主要因素,其次为相对湿度,平均风速影响较弱。日照时数的影响因素较多。云量对太阳辐射的吸收、反射与散射作用,对日照时数有重要的影响;人类由于各种生产活动排放到大气中的气溶胶,比如工厂、冬季居民取暖等排放的硫化物等污染性气体、城市化加速与人口急剧增加都会增加大气的气溶胶含量,会影响到日照时数的多少。由于气溶胶数据问题,文章对气溶胶含量影响因素的定量分析未涉及。

参考文献(References)

[1] 吴兑,毛节泰,邓雪娇,等. 珠江三角洲黑碳气溶胶及其辐射特性的观测研究[J]. 中国科学,2009,39(11):1542-1553 [WU Dui,MAO Jietai,DENG Xuejiao,et al. Black carbon aerosols and their radiative properties in the Pearl River Delta region[J]. Science

- In China Press, 2009, **39**(11): 1542 – 1553]
- [2] 邓雪娇, 周秀骥, 吴兑, 等. 珠江三角洲大气气溶胶对地面臭氧变化的影响[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, **41**(1): 93 – 102 [DENG Xuejiao, ZHOU Xiuji, WU Dui, et al. Effect of atmospheric aerosol on surface ozone variation over the Pearl River Delta region [J]. Science In China Press, 2011, **41**(1): 93 – 102]
- [3] 符传博, 丹利, 吴洞, 等. 近46年西南地区晴天日照时数变化特征及其原因初探[J]. 高原气象, 2013, **32**(6): 1729 – 1738 [FU Chuanbo, DAN Li, WU Jian, et al. The regional and spatiotemporal characteristics of sunny sunshine duration in southwest china during recently 46 years and Its formation reason [J]. Plateau Meteorology, 2013, **32**(6): 1729 – 1738]
- [4] 罗永忠, 郭小芹, 刘绪珍. 1961—2013年气候变化对祁连山草地生产力影响评价[J]. 山地学报, 2017, **35**(4): 437 – 443 [LUO Yongzhong, GUO Xiaoqin, LIU Xuzhen, et al. Impact of climate change on grassland productivity of Qilian Mountains in 1961 – 2013 [J]. Mountain Research, 2017, **35**(4): 437 – 443]
- [5] 曹广超, 付建新, 李玲琴, 等. 1960—2014年祁连山南坡及其附近地区气温时空变化特征[J]. 水土保持研究, 2018, **25**(3): 88 – 96 [CAO Guangchao, FU Jianxin, LI Lingqin, et al. Analysis on temporal and spatial variation characteristics of air temperature in the south slope of Qilian Mountains and its nearby regions during the period of 1960 – 2014 [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, **25**(3): 88 – 96]
- [6] 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 – 956 [REN Guoyu, GUO Jun, XU Mingzhi, et al. Climate changes of China's main land over the past half century [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2005, **63**(6): 942 – 956]
- [7] 李慧群, 付遵涛, 闻新宇, 等. 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, 2013, **18**(2): 203 – 209 [LI Huiqun, FU Zuntao, WEN Xinyu, et al. Characteristic analysis of sunshine duration change in China during the last 50 years [J]. Climatic & Environmental Research, 2013, **18**(2): 203 – 209]
- [8] 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]
- [9] 杨春艳, 沈渭寿, 林乃峰. 西藏高原气候变化及其差异性[J]. 干旱区地理, 2014, **37**(2): 290 – 298 [YANG Chunyan, SHEN Weishou, LIN Neifeng. Climate change and its regional differences over the Tibet Plateau [J]. Arid Land Geography, 2014, **37**(2): 290 – 298]
- [10] 李净, 王卫东, 张福存. 利用LM-BP神经网络估算西北地区太阳辐射[J]. 干旱区地理, 2015, **38**(3): 438 – 445 [LI Jing, WANG Weidong, ZHANG Fucun. Simulation of solar radiation in northwest China based on LM-BP neural network [J]. Arid Land Geography, 2015, **38**(3): 438 – 445]
- [11] 徐宗学, 赵芳芳. 黄河流域日照时数变化趋势分析[J]. 资源科学, 2005, **27**(5): 153 – 159 [XU Zongxue, ZHAO Fangfang. Variation of sunlight radiation duration in the Yellow River Basin [J]. Resources Science, 2005, **27**(5): 153 – 159]
- [12] 范晓辉, 郝智文, 王孟本. 山西省近50年日照时数时空变化特征研究[J]. 生态环境学报, 2010, **19**(3): 605 – 609 [FAN Xiaohui, HAO Zhiwen, WANG Mengben. Temporal and spatial variations in sunshine duration during 1959 – 2008 over Shanxi, China [J]. Ecology & Environmental Sciences, 2010, **19**(3): 605 – 609]
- [13] 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[J]. 自然资源学报, 2009, **24**(7): 1275 – 1285 [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 [J]. Journal of Natural Resources, 2009, **24**(7): 1275 – 1285]
- [14] 沈瑱, 曾燕, 肖卉, 等. 江苏省日照时数的气候特征分析[J]. 气象科学, 2007, **27**(4): 425 – 429 [SHEN Zhen, ZENG yan, XIAO Hui et al. Changes of sunshine hours in the recent 40 years over Jiangsu province [J]. Scientia Meteorologica Sinica, 2007, **27**(4): 425 – 429]
- [15] 黄胜, 马占良. 近50年西宁市日照时数变化规律分析[J]. 高原气象, 2011, **30**(5): 1422 – 1425 [HUANG Sheng, MA Zhanliang. Variation characteristic of sunshine duration in Xining in recent 50 years [J]. Plateau Meteorology, 2011, **30**(5): 1422 – 1425]
- [16] 彭艳, 王钊, 李星敏, 等. 近50a西安太阳辐射变化特征及相关影响因子分析[J]. 干旱区地理, 2012, **35**(5): 738 – 745 [PENG Yan, WANG Zhao, LI Xingmin, et al. Variation of surface solar radiation and its impact factors of Xi'an in recent 50 years [J]. Arid Land Geography, 2012, **35**(5): 738 – 745]
- [17] 杨强, 覃志豪, 王涛, 等. 榆林地区1970—2010年气候因子变化特征分析[J]. 干旱区地理, 2012, **35**(5): 695 – 707 [YANG Qiang, QIN Zhihao, WANG Tao, et al. Characteristics of climate factor change in Yulin region during 1970 – 2010 [J]. Arid Land Geography, 2012, **35**(5): 695 – 707]
- [18] 王自发, 黄美元, 高会旺, 等. 关于我国和东亚酸性物质的输送研究: 硫化物浓度空间分布特征及季节变化[J]. 大气科学, 1998, **22**(5): 693 – 700 [WANG Zifa, HUANG Meiyuan, GAO Huiwang, et al. On transport of sulfate materials of China and eastern Asia; II Spatial distribution and seasonal variation of sulfate [J]. Atmospheric Sciences (in Chinese), 1998, **22**(5): 693 – 700]
- [19] 王喜红, 石广玉. 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, 2002, **60**(6): 758 – 765 [WANG Xihong, SHI Guangyu. Effect of clouds and land surface reflectivity on direct radiative forcing of sulfate over East Asia [J]. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 2002, **60**(6): 758 – 765]
- [20] 罗云峰, 周秀骥. 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, 2002, **26**(6): 721 – 730 [LUO Yunfeng, ZHOU Xiuji. An analysis of spatial distribution of aerosol optic

- depth of China over the past 30 years[J]. Atmospheric Sciences (in Chinese), 2002, **26**(6): 721 - 730
- [21] 张锐, 刘普幸, 张克新, 等. 祁连山区日照时数的空间差异、突变与多尺度分析[J]. 资源科学, 2010, **32**(12): 2413 - 2418 [ZHANG Rui, LIU Puxing, ZHANG Kexin, et al. Analysis of spatial differences, mutation and multi-scale attributes of sunshine duration in the Qilian Mountains[J]. Resources Science, 2010, **32**(12): 2413 - 2418]
- [22] 康淑媛, 张勃, 郭玉刚, 等. 1959 年至 2008 年石羊河流域日照时数时空变化特征[J]. 资源科学, 2011, **33**(3): 483 - 488 [KANG Shuyuan, ZHANG Bo, GUO Yugang, et al. Changes of sunshine duration over the Shiyang River Basin during the Last 50 Years[J]. Resources Science, 2011, **33**(3): 483 - 488]
- [23] 李净, 罗晶. 晴空下山区太阳辐射模拟[J]. 干旱区地理, 2015, **38**(1): 120 - 127 [LI Jing, LUO Jing. Estimation of solar radiation over rugged terrains based on clear sky condition[J]. Arid Land Geography, 2015, **38**(1): 120 - 127]
- [24] 王海军, 张勃, 靳晓华, 等. 基于 GIS 的祁连山区气温和降水的时空变化分析[J]. 中国沙漠, 2009, **29**(6): 1196 - 1202 [WANG Haijun, ZHANG Bo, JIN Xiaohua, et al. Spatio-temporal variations analysis of air temperature and precipitation in Qilian Mountainous region based on GIS[J]. Journal of Desert Research, 2009, **29**(6): 1196 - 1202]
- [25] 戴声佩, 张勃. 基于 GIS 的祁连山植被 NDVI 对气温降水的旬响应分析[J]. 生态环境学报, 2010, **19**(1): 140 - 145 [DAI Shengpei, ZHANG Bo. En-day response of vegetation NDVI to the variations of temperature and precipitation in Qilian Mountains based on GIS[J]. Ecology & Environmental Sciences, 2010, **19**(1): 140 - 145]
- [26] 李金良, 郑小贤, 池建, 等. 祁连山水源涵养林经营现状分析与经营对策[J]. 北京林业大学学报, 2004, **26**(5): 89 - 92 [LI Jinliang, ZHENG Xiaoxian, CHI Jian, et al. Analysis of current management condition and countermeasures on water resources conservation forest in Qilian Mountains[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2004, **26**(5): 89 - 92]
- [27] 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 climatic change[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1992, **16**(4): 482 - 493]
- [28] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第二版)[M]. 北京: 气象出版社, 2007 [WEI Fengying. Modern climatic statistical diagnosis and forecasting technology-2nd press[M]. Beijing: China Meteorological Press. 2007]
- [29] 魏凤英, 朱福康, 谢宇. 在“98.7”武汉强暴雨过程中不同尺度波动的作用及其相干性[J]. 高原气象, 2005, **24**(1): 49 - 55 [WEI Fengying, ZHU Fukang, XIE Yu. The effect of multi-scale waves in torrential rain process in Wuhan in July 1998 and its coherence[J]. Plateau Meteorology, 2005, **24**(1): 49 - 55]
- [30] 范莉梅, 车克钧. 甘肃省近 54 年日照时数变化特征及影响因素[J]. 中国农学通报, 2015, **31**(6): 194 - 199 [FAN Limei, KEJUN. Sunshine duration variation and its influencing factors in recent 54 years in Gansu Province[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, **31**(6): 194 - 199]
- [31] 刘义花, 汪青春, 王振宇, 等. 1971—2007 青海省日照时数的时空分布特征[J]. 资源科学, 2011, **33**(5): 1010 - 1016 [LIU Yihua, WANG Qingchun, WANG Zhenyu, et al. Distribution characteristics of sunshine duration in Qinghai Province[J]. Resources Science, 2011, **33**(5): 1010 - 1016]
- [32] 刘晓琼, 刘彦随, 李同昇, 等. 高强度能源开发区河流径流量演变及其减流成因——以窟野河为例[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2014, **50**(3): 299 - 304 [LIU Xiaoqiong, LIU Yansui, LI Tongsheng, et al. Changes and reduction causes of annual runoff in intensive energy development area: a case study of Kuye River[J]. Journal of Lanzhou University, 2014, **50**(3): 299 - 304]
- [33] 陈少勇, 董安祥, 王丽萍. 中国西北地区总云量的气候变化特征[J]. 成都信息工程学院学报, 2006, **21**(3): 423 - 428 [CHEN Shaoyong, DONG Anxiang, WANG Liping. Climate change features of total cloud cover over northwest China[J]. Journal of Chengdu University of Information Technology, 2006, **21**(3): 423 - 428]
- [34] 陈少勇, 张康林, 邢晓宾, 等. 中国西北地区近 47a 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. Climatic change of sunshine duration in northwest China during the last 47 years[J]. Journal of Natural Resources, 2010, **25**(7): 1142 - 1152]
- [35] 蒋冲, 刘晓磊, 程楠楠, 等. 秦岭南北日照时数时空变化及突变特征[J]. 干旱区地理, 2013, **36**(3): 416 - 424 [JIANG Chong, LIU Xiaolei, CHENG Nannan, et al. Spatial-temporal variations and mutations of sunshine hours in the northern and southern regions of Qinling Mountains[J]. Arid Land Geography, 2013, **36**(3): 416 - 424]
- [36] 陶健红. 西北地区沙尘天气的气候特征及其影响研究[D]. 南京信息工程大学, 2007 [TAO Jianhong. Study on the climatic characteristics and influence of sand-dust weather in northwest China[D]. Nanjing University of Information Science & Technology, 2007]
- [37] 华维, 范广洲, 陈权亮, 等. 青藏高原年日照时数的年代际变化趋势[J]. 长江流域资源与环境, 2009, **18**(12): 1149 - 1155 [HUA Wei, FAN Guangzhou, CHEN Quanlaing, et al. Study of interdecadal variation of the annual sunshine duration over Tibetan Plateau[J]. Resources & Environment in the Yangtze Basin, 2009, **18**(12): 1149 - 1155]
- [38] 周晓宇, 张新宜, 崔妍, 等. 1961—2009 年东北地区日照时数变化特征[J]. 气象与环境学报, 2013, **29**(5): 112 - 120 [ZHOU Xiaoyu, ZHANG Xinyi, CUI Yan, et al. The characteristics of sunshine duration from 1961 to 2009 in northeast China[J]. Journal Of Meteorology & Environment, 2013, **29**(5): 112 - 120]
- [39] 肖莲桂, 祁栋林, 石明章. 1961—2013 年青海省柴达木盆地日照时数的变化特征及其影响因素[J]. 中国农学通报, 2017, **33**(2): 106 - 114 [XIAO Liangui, QI Donglin, SHI Mingzhang.

Sunshine hours variation characteristics and influencing factors in Qaidam Basin during 1961 – 2013 [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, **33**(2): 106 – 114]

[40] 周秉荣, 颜亮东, 校瑞香. 三江源地区太阳辐射与日照时空分布特征[J]. 资源科学, 2012, **34**(11): 2074 – 2079 [ZHOU

Bingrong, YAN Liangdong, XIAO Ruixiang. Temporal and spatial distribution in solar radiation and sunshine in the “Three-River – Source” region [J]. Resources Science, 2012, **34**(11): 2074 – 2079]

Temporal and Spatial Variation Characteristics of Sunlight Hours in the Qilian Mountain, China from 1960 to 2014

FU Jianxin^{1,2}, CAO Guangchao^{1,2*}, LI Lingqin^{1,2}, TANG Zhongxia^{1,2}, YANG Xiaomin^{1,2}

(1. Key Laboratory of Qinghai Province Physical Geography and Environmental Process, Qinghai Normal University, Xining 810008, China;

2. College of Geography Science, Qinghai Normal University, Xining 810008, China)

Abstract: Based on the data of 1960 – 2014 collected at meteorological stations in the Qilian Mountain and its surrounding areas, the spatial and temporal characteristics of the sunlight hours and its influencing factors in the eastern, the middle and the western Qilian Mountain were analyzed by using Mann-Kendall test, moving t-test, Morlet wavelet analysis method and the spatial analysis method of ARCGIS. Results showed that the average annual sunlight hours in the Qilian Mountains presented a downward trend as a whole, in which the drop in the eastern Qilian Mountain was the fastest; The maximum value of sunlight hour change in a year was May, which was closely related to the sunny weather of the month; Abrupt changes in sunlight hours were most pronounced in summer and winter of a year, and they began in 2000 and 1983, respectively; The oscillation period of sunlight hours may be 28 years. The distribution of annual sunlight hours in the Qilian Mountains was featured by a pattern of low values in the southeast and high ones in the northwest. The values of sunshine hours over whole sections of the Qilian Mountains was decreasing in summer and winter; The main factors regulating sunshine hours in the Qilian Mountains were water vapor pressure, cloud cover, annual precipitation and relative humidity.

Key words: Qilian Mountains; sunlight hours; temporal and spatial change; section