

陈鹏翔,彭冬梅,张旭.基于DEM的新疆区域可照时间的分布式模拟[J].沙漠与绿洲气象,2018,12(1):15-20.

doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2018.01.003

基于DEM的新疆区域可照时间的分布式模拟

陈鹏翔^{1,2},彭冬梅³,张旭¹

(1.新疆气候中心,新疆 乌鲁木齐830002;2.新疆政府投资项目评审中心,新疆 乌鲁木齐830002;

3.新疆兴农网信息中心,新疆 乌鲁木齐830002)

摘要:以新疆区域500 m×500 m分辨率的数字高程模型(DEM)数据为主要数据源,在提取纬度、坡度、坡向等地形要素栅格数据的基础上,使用考虑地形遮蔽的分布式计算模型,完成了新疆区域全年每日可照时间的数值模拟计算,分析了其时空变化特征,讨论了地形因子对可照时间的影响,结果表明:对新疆而言,可照时间7月最长,为441 h;12月最短,为266 h,区域内可照时间的离散度较大,主要原因是地形差异所致;海拔高于1500 m的山区对全区可照时间标准差的贡献率达到了80.1%;冬夏两季有较为显著的纬向分布特征,三大山脉地区可照时间与同纬度平地相比差异明显,表现出可照时间的地域性分布特征;地形对可照时间的影响比较明显,坡度越大可照时间越少;坡向对可照时间的影响主要表现在冬季,大致为可照时间南坡多、北坡少;随着地形开阔度的增大,可照时间有较为明显的增加。

关键词:可照时间;DEM;分布式模型;新疆**中图分类号:**P429**文献标志码:**A**文章编号:**1002-0799(2018)01-0015-06

太阳辐射是地球上最主要的热量来源^[1]。可照时间作为模拟太阳辐射的重要参数,决定着地表接受太阳辐射能量的多少,进而影响其他气象要素和地表通量的空间分布,是局地气候形成的主要因素^[2]。因此对可照时间的研究广泛应用于农林、气象、水文、遥感、建筑、太阳能工程等领域^[3]。“可照时间”定义有两种,即天文可照时间和地理可照时间,前者是指不考虑大气影响和地形遮蔽的最大可能日照时间,后者是指考虑地形遮蔽而不考虑大气影响的可能日照时间,本文计算的“可照时间”就是指“地理可照时间”^[4]。

关于复杂地形下可照时间的研究,国内外的相关学者已取得了一定的进展。以地理信息系统(GIS)作为新技术应用为界,大概分为两个研究阶段,前一阶段以傅抱璞^[5,6]、李占清、翁笃鸣^[7-9]、朱志辉^[10]等为代表的学者相继提出的理论推算模型为主,但是限于当时的技术条件,这些理论方法处理的数据量有限、

过程繁琐、计算时间长。后一阶段是以地理信息系统(GIS)技术的发展,特别是数字高程模型(DEM)的引入为标志,Dozier等^[11,12]、Dubayah等^[13]、Bocquet^[14]、Roberto^[15]等、李新等^[3]先后利用数字高程模型(DEM)计算山地辐射的理论研究和区域试验,为计算起伏地形下的可照时间提供了新的研究思路。曾燕、邱新法^[2,16,17]在考虑地形遮蔽的前提下建立了实际起伏地形下我国可照时间分布式计算模型,计算了我国1 km×1 km空间尺度的可照时间的分布。同时陈华^[18]、李军^[19]、孙娴^[20]、周明昆^[21]等也对我国不同区域的日照进行了模拟。上述研究工作主要针对作者所关注的某一地区或区域,对新疆可照时间的模拟和分析未见报道,同时,对全国可照时间的模拟分辨率为1 km×1 km,精细化程度较低,作为辐射的重要参数,难以适应现代社会经济发展对辐射量的精细化空间需求。本文在前人研究的基础上,使用分布式模型,采用更为精细分辨率的DEM数据(500 m×500 m)作为地形的综合反映,对新疆区域的可照时间进行模拟,计算了新疆区域全年每日可照时间空间数据集,分析了可照时间的时空分布特征,探讨了地形因子对可照时间的影响,从而为区域气候资源可持续利用和生态环境建设提供基础数据和科学依

投稿日期:2017-05-16; **修回日期:**2017-09-07**基金项目:**国家自然科学基金(41505101)和新疆维吾尔自治区气象局科研项目(201303)资助。**作者简介:**陈鹏翔(1983-),男,高级工程师,从事气候变化、气候预测领域的业务与科研工作。E-mail: cpx1860@163.com

据^[22]。

1 研究区概况

新疆地处亚欧大陆腹地,位于我国西北部,面积约占我国陆地面积的六分之一^[23]。新疆四面被高山环绕,南有青藏高原、阿尔金山,东有祁连山,西南有喀喇昆仑山,北面有阿尔泰山,中部有天山横亘,将新疆分为南北两半,天山北面形成了准噶尔盆地与古尔班通古特沙漠,南面形成了塔里木盆地与塔克拉玛干沙漠,从而形成了新疆“三山夹两盆”的特殊地貌格局^[24]。由于新疆远离海洋,使得湿润的海洋气流难以进入,形成了极端干燥的大陆性气候,是世界典型干旱区之一。新疆年太阳能辐射量仅次于西藏,具有丰富的太阳能光热资源^[25]。但下垫面条件多样,整体气候具有多样性和复杂性。因此,对于了解区域内辐射空间分布特征,合理开发利用区域太阳能资源而言,日照时间的计算是一项必要的基础性工作。

2 研究方法

2.1 分布式模型计算方法

本文的分布式模型计算方法采用曾燕、邱新法^[4]等描述的计算模型,其基本思想是实际地形中,任意一点P在一天中的任意时刻是否日照,主要由该时刻太阳光线投射方向上的地形对P点有无造成遮蔽而决定。当太阳高度角大于地形对P点造成的遮蔽角时,P点可得到日照;反之,则被遮蔽,没有日照。计算过程主要包括以下几个步骤:

(1)首先根据天文和地理因子计算一年中任意一天P点的日出日没时角,使用 $[-\omega_0, \omega_0]$ 来表示,给定时间步 $\Delta T(\text{min})$,计算相应的太阳时角步长 $\Delta\omega = \frac{2\pi}{24 \times 60} \cdot \Delta T$,将日出至日没时间划分为 $n+1$ 个时刻,利用太阳视轨道方程确定各个时刻的太阳时角 ω_i 、太阳高度角 h_i 和太阳方位角 ϕ_i (其中 i 表示时刻):

$$\omega_i = -\omega_0 + i\Delta\omega, \quad (1)$$

$$\sin h_i = \sin\phi_i \sin\delta + \cos\phi_i \cos\delta \cos\omega_i, \quad (2)$$

$$\cos\phi_i = \frac{\sin h_i \sin\varphi - \sin\delta}{\cos h_i - \cos\varphi}, \quad i=0, 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中 φ 为纬度, δ 为太阳赤纬,根据1986年中国天文年历中的列表值计算得出,单位均为弧度。

(2)判断各时刻对应的太阳方位 ϕ_i 上的遮蔽状况 S_i ,以P点为起点,沿 ϕ_i 方位作直线L,根据太阳高度角 h_i 和直线 L_i 方向上各点的高程即可确定该时刻周围地形对P点的遮蔽状况 S_i ,当直线 L_i 方向上各点的高程均对P点不造成遮蔽时,记 $S_i=1$,表示P点日照;反之,只要有一点高程使P点不可日照,记 $S_i=0$,表示P点受地形遮蔽。实际计算中,地形用数字高程模型DEM来表示,由于DEM是由有固定长和宽的格网组成,在计算机模型中,自P点开始沿直线L按照距离步长 ΔL 依次判断相应格网点对P点的遮蔽状况(图1)。

(3)计算遮蔽系数,以上述 $n+1$ 个时刻的每相邻两时刻作为一个时间段,则共有 n 个时段,设 g_i 为每个时段的遮蔽系数,取

$$g_i = \frac{1}{2} (S_{i-1} + S_i). \quad (4)$$

(4)计算日照时间,实际起伏地形中任一点P在任一天的日照时间 $T(h)$ 是每个时段日照时间的总和,表示为:

$$T = \frac{24}{2\pi} \left(\sum_{i=1}^{n-1} g_i \Delta\omega + g_n \text{mod} \left(\frac{2\omega_0}{\Delta\omega} \right) \right). \quad (5)$$

式中 $\text{mod}()$ 为求余函数,用来表示一天时间(从 $-\omega_0$ 到 ω_0 时段)除以时间步长 $\Delta\omega$ 后的余数值(单位为弧度)。

2.2 参数设定

分布式模型避免了图解法中因获取遮蔽图而要进行的大量野外测量工作,克服了经验方程依赖站点数目的多少以及解析法对地形欠考虑的缺陷^[22]。经大数据量的计算和检验,该方法能较准确和定量

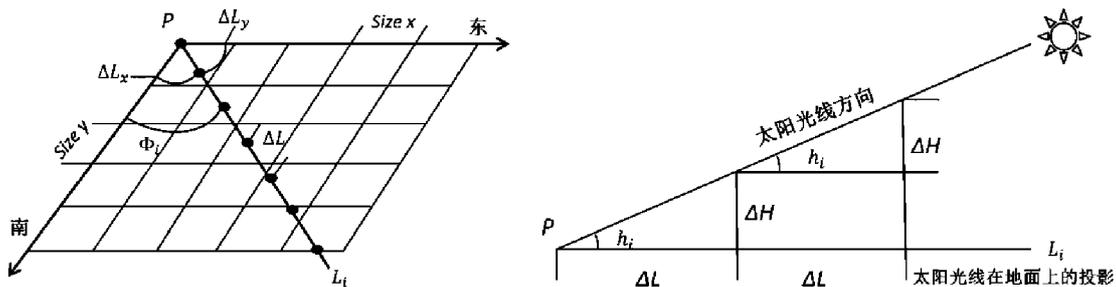


图1 模型参数示意图

地反映不同比例的复杂地形下地理可照时间的空间分布。有研究证明^[25],对于地形起伏较大的地区,DEM数据的精度对地形开阔度的空间尺度感应较强,进而影响可照时数的模拟。在本次研究中,选取了500 m×500 m分辨率的DEM数据,栅格数为4845×3786个,对占有全国1/6国土面积的新疆使用此分辨率来计算,无疑要耗费大量的机时,经过多次试验,在计算过程中对数据源进行了调整,提升了计算效率(前期直接对栅格数据进行操作,调整后改为针对二进制数据计算,最后转为栅格数据显示)。在分布式模型基础参数的设定中,地形遮蔽半径取20 km,时间步长为10 min。计算了新疆区域全年每日可照时间,根据每日可照时间进行累加,得到月、季和全年可照时间,进行分析讨论。

3 计算结果及分析

3.1 新疆区域可照时间时空分布特点

表1给出了考虑地形遮蔽的新疆区域1—12月可照时间的统计。就平均值而言,在全年中7月最大,为441 h,12月份最小,为266 h,其中5、6、7、8月的平均日照时数在全年较多,均超过了410 h;对于最小值,9月一次年3月都为0 h,在这7个月当中,均有地方没有接收到日照,说明在太阳高度角较小的月份,地形遮蔽对日照时数的影响明显;最大值中,7月的日照时数最多,为482 h,12月最少,为302 h。12个月的标准差在24~39 h之间,与我国一些西部省份相比(陕西、广西、贵州等)明显偏大,同时可以看出标准差最大的月份为11月、12月和1月,均超过了32 h,说明太阳高度角越小,区域内可照时数差异越大,这可能与新疆区域较大的地形差异有关。

表1 新疆区域1—12月可照时间统计 h

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
最小值	0	0	0	18.5	100.0	118.8	113.3	59.8	0	0	0	0
最大值	310.0	302.3	366.7	405.5	467.7	478.0	482.3	440.3	374.0	347.3	307.8	301.5
平均值	276.3	280.4	352.5	382.3	430.6	435.5	441.0	410.6	358.6	327.5	278.4	265.8
标准差	36.3	26.8	25.3	24.3	27.3	28.2	28.3	25.8	24.0	27.3	32.8	38.6

为了证明新疆区域内日照时数离散程度较大是由地形差异所致,按照海拔1500 m为中间界线,将新疆划分为海拔1500 m以上的山区和1500 m以下的平原地区,分别讨论其可照时间的变化情况,图2是新疆区域内海拔1500 m以上和以下每月可照时间格点数据的对比盒须图,每月两个数据的前者为

高于海拔1500 m统计值,后者为低于海拔1500 m统计值。为了使绘图数据便于比较,我们把盒须图的下边缘值统一为第5个百分位数。从图2可以看出,随着时间的变化两组数据整体均呈现出冬季低夏季高,春秋介于中间的一致变化。高于海拔1500 m和低于海拔1500 m区域的中位数(第50个百分位数)位置在每月的分布中较为接近,但是,从上下限和四分位数间距来看,高海拔地区明显要大于低海拔地区,说明了无论全年当中的哪个月份,平原区的可照时间都相对山区更为稳定。同时,从两个区域标准差的贡献率也说明了这一点,海拔1500 m以上的区域对全区标准差贡献率为80.1%,这也解释了山区是造成新疆区域整体可照时间差异较大的原因。

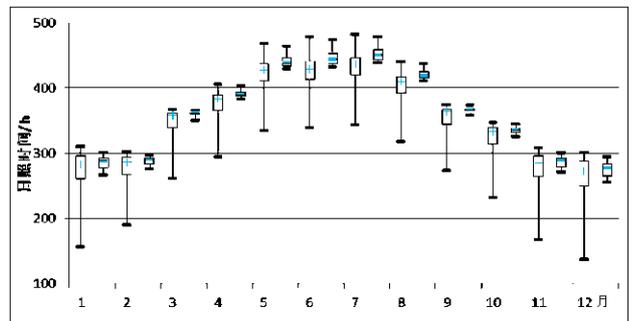


图2 新疆区域海拔1500 m以上/以下每月可照时间格点数据对比盒须图
(中位数符号+为高于海拔1500 m统计值,中位数符号-为低于海拔1500 m统计值)

新疆大多数地区的可照时数在4100~4400 h之间,太阳可照资源非常丰富,但是盆地和山区之间的差异也非常明显,全区年可照时间平均为4239 h(图3)。全年可照时间的纬向分布特征不明显,年可照时间的空间分布具有明显的地域性分布特征,由地

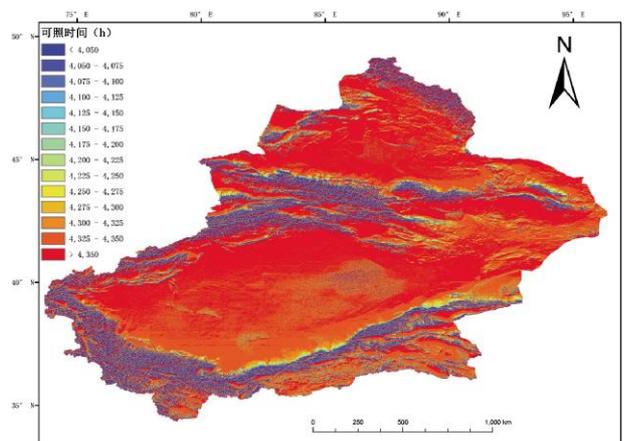


图3 新疆区域年可照时间空间分布

形遮蔽造成的影响在图中很容易看出,尤其是在昆仑山、天山和阿尔泰三大山脉之中,由于坡度、坡向的作用,在阶地、台地、高山的阳坡与半阳坡可以获得较长的日照,而在中山、河谷的阴坡可能获得的日照时间较短。

图4为新疆区域春季(3—5月)、夏季(6—8月)、秋季(9—11月)及冬季(12月、1—2月)可照时间的空间分布。实际地形下新疆各季可照时间的空间分布差异明显,具有明显的季节变化特征。全区四季可照时间平均分别为:春季1165 h,夏季1286 h,秋季964 h,冬季823 h,可照时间以夏季最长,变化差异最平缓,春秋季节次之,冬季最短,变化差异最大,表现出四季分布的不对称性。从夏季和冬季的可照时间空间分布中可以看出有较为显著纬向分布特征,夏季可照时间表现出自北向南的递减,而冬季则表现出相反分布特点。无论哪一个季节,在三大山脉中由地形对可照时间造成的影响都非常明显。

3.2 地形对可照时间的影响

地形对可照时间的影响主要是坡度、坡向和地形遮蔽的影响。本文主要从统计上量化分析坡度、坡向和地形遮蔽对新疆可照时间的影响,利用ARCGIS对栅格数据的统计分析功能,将坡度和坡向栅格图进行分类,对于新疆区域而言,坡度 $>60^\circ$ 的栅格数很少,所以,将坡度 $<60^\circ$ 的栅格,按每 5° 分类,从 $0^\circ\sim 60^\circ$

共分12类。对于坡向,按照坡向8方位分为8类。对于地形遮蔽的影响,本文使用地形开阔度来分析,地形开阔度是指具有一定坡度、坡向的坡元受到周围地形的遮蔽时,坡元只能见到全部天空的一部分,他可以反映坡元受周围地形遮蔽影响的程度^[26],地形开阔度的详细计算方法请参看文献^[26],同样在计算地形开阔度时设置的遮蔽半径为20 km,方位角步长为 10° 。使用上述方法,分别统计1月(冬季代表月)和7月(夏季代表月)可照时间的分布情况。

由图5可知,1月(夏季)和7月(冬季)的可照时间随坡度呈现出相同的规律。从总量上来看,可照时间大多数集中分布于地形坡度 $<5^\circ$ 的地区,说明对于新疆而言,大面积的盆地和沙漠接收了全疆大多数可照时间。 5° 以后,随着坡度的增加,可照时间逐步减

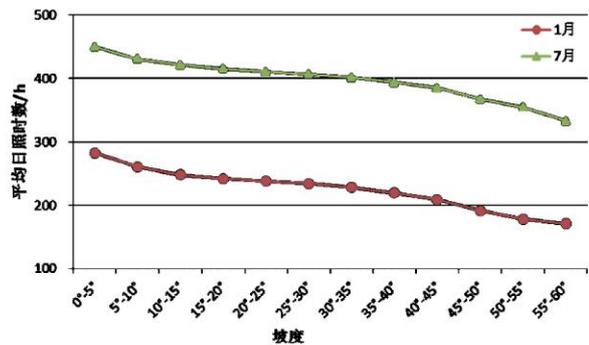


图5 新疆区域1月、7月可照时数随坡度变化

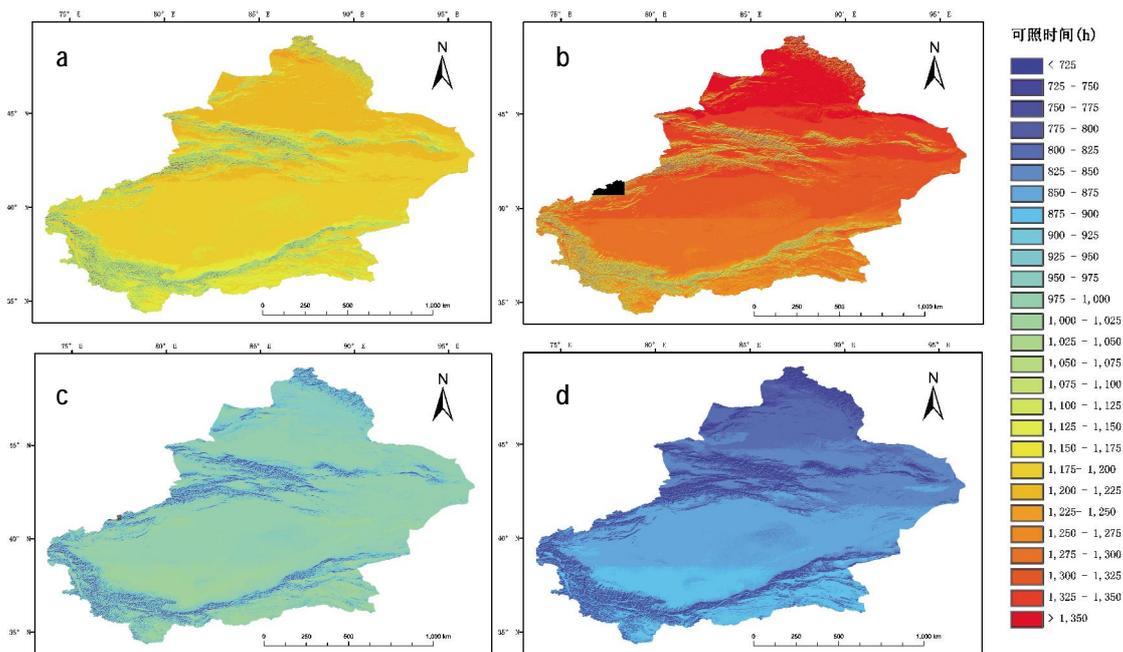


图4 新疆区域四季可照时间空间分布
(a为春季, b为夏季, c为秋季, d为冬季)

少, $35^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 之间,日照总量很少,说明在坡度较小的区域,受地形遮蔽影响较小,日照时间长;坡度较大的区域,受地形遮蔽影响较大,日照时间变短。从日照时间平均值变化情况来看,夏季和冬季的日照时间都随坡度呈下降趋势,且冬季下降趋势更为明显。说明日照时间随坡度增大而减少,冬季受坡度影响更加明显。

由图6可以看出,新疆区域冬季和夏季的日照时间受坡向影响差异较为显著。冬季日照时间随坡向变化明显,南坡、东南坡和西南坡的日照时间较长,东坡和西坡次之,东北坡、西北坡和北坡的日照时间最短,主要是由于冬季的太阳高度角小,坡向对日照时间的影响明显。夏季的日照时间随坡向变化不大,各方位坡地的日照时间差异较小,主要是因为夏季太阳高度角高,坡向对日照时间的影响不明显,这时主要是受地形遮蔽条件的影响。

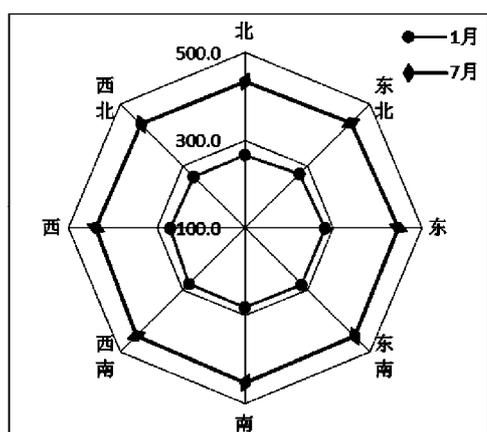


图6 新疆区域1月、7月日照时数随坡向变化

图7是新疆区域1月和7月平均日照时数随地形开阔度的变化曲线。地形开阔度越大说明地势越平坦,受地形遮蔽的影响越小。月平均日照时数受地形

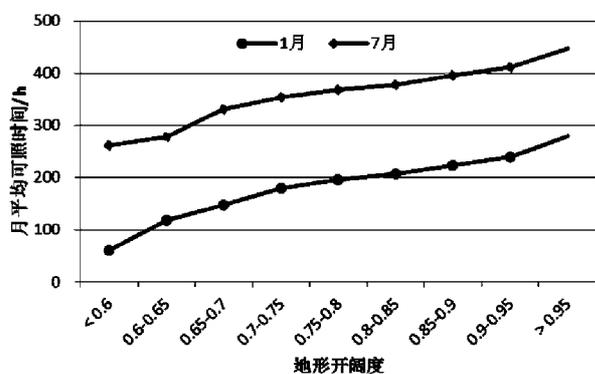


图7 新疆区域1月、7月平均日照时数随地形开阔度变化

的开阔度影响较大,随着地形开阔度的增加而逐渐增大。在地形开阔度 < 0.7 时,日照时数的增加趋势较为明显,同时,地形开阔度对日照时数的影响也存在季节差异;1月的整体增加速率要高于7月,这说明,1月(冬季)太阳高度角较低,地形遮蔽对日照时间的影响较大,尤其是周围地形遮蔽显著时,日照时数变化速率相对7月更明显。

4 结论与展望

使用分布式模型基于DEM数据计算了新疆区域的日照时数,分析了其时空变化特征,以及地形可能造成的影响,得到以下结论:

(1)利用高空间分辨率的DEM数据研究复杂区域日照时间的空间分布,可以有效地反映起伏地形下日照时间的时空分布规律。对于新疆而言,日照时间7月最长,为441 h;12月最短,为266 h,区域内日照时间的离散度较大,主要原因是地形差异所致,海拔高于1500 m的山区对全区标准差贡献率达到了80.1%。冬夏两季有较为显著的纬向分布特征,三大山脉地区日照时间与同纬度平地相比差异明显,表现出日照时间的地域性分布特征。

(2)地形对日照时间的影响非常明显,坡度越大日照时间越少;坡向对日照时间的影响主要表现在冬季,大致为日照时间南坡多,北坡少;随着地形开阔度的增大,日照时间增加较为明显。地形对日照时间的影响大小主要与太阳高度角有关,在冬季,太阳高度角较低,地形作用明显;夏季地形对日照时间的影响相对较弱。

(3)由于本文中对于日照时间的模拟仅仅考虑了地形因子的影响,还不能完全反映实际的日照时间。除了地形因子的影响之外,日照时间还受云量多少等因素的影响,同时DEM数据本身和时间步长的取值都会造成细微的误差。上述问题有待进一步深入探讨和改进。

参考文献:

- [1] 李军,黄敬峰.基于DEM的山地日照时间的空间分布[J].浙江大学学报(理学版),2007(3):346-350.
- [2] 曾燕,邱新法,缪启龙,等.起伏地形下我国日照时间的空间分布[J].自然科学进展,2003(5):545-548.
- [3] 李新,程国栋,陈贤章,等.任意地形条件下太阳辐射模型的改进[J].科学通报,1999(9):993-998.
- [4] 左大康.现代地理学词典[M].北京:商务印书馆,1990.
- [5] 傅抱璞.山地气候[M].北京:科学出版社,1983.
- [6] 傅抱璞,虞静明,卢其尧.山地气候资源与开发利用[M].南京:南京大学出版社,1996.

- [7] 李占清, 翁笃鸣. 一个计算山地地形参数的计算机模式[J]. 地理学报, 1987(3): 1333-1335.
- [8] 翁笃鸣, 孙治安. 青藏高原地区地表及行星反射率[J]. 应用气象学报, 1994(4): 394-401.
- [9] 缪启龙, 翁笃鸣, 孙治安, 等. 中国墙面太阳总辐射的计算及全国分布[J]. 应用气象学报, 1991(2): 184-191.
- [10] 朱志辉. 等日照时间与等日照方位[J]. 国科学(B辑), 1987(12): 1340-1347.
- [11] Dozier J, Quilley C. An approach to energy balance simulation over rugged terrain [J]. Geograph Anal, 1979(11): 65-85.
- [12] Dozier J, Frew J. Rapid calculation of terrain parameters for radiation modeling from digital elevation data [J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 1996, 28(5): 963-969.
- [13] Dubayah R, Dozier J, Davis F W. Topographic distribution of clear-sky radiation over the Konza prairie Kansas [J]. Water Resour Res, 1990, 2(6): 679-690.
- [14] Bocquet G. Method of study and cartography of the potential sunny periods in mountainous areas [J]. Journal of Climatology, 1984, 1(4): 587-596.
- [15] Roberto R, Renzo R. Distributed estimation of incoming direct solar radiation over a drainage basin [J]. Journal of Hydrology, 1995, 16(6): 461-478.
- [16] 袁淑杰, 缪启龙, 邱新法, 等. 贵州高原起伏地形下日照时间的时空分布[J]. 应用气象学报, 2008(2): 233-237.
- [17] 杨羨敏, 曾燕, 邱新法, 等. 1960~2000年黄河流域太阳总辐射气候变化规律研究 [J]. 应用气象学报, 2005(2): 243-248.
- [18] 陈华, 孙丹峰, 段增强, 等. 基于DEM的山地日照时数模拟时空特点及应用—以北京西山门头沟区为例[J]. 山地学报, 2002(5): 559-563.
- [19] 李军, 黄敬峰. 基于DEM的山区太阳散射辐射的空间分布模型[J]. 科技通报, 2006(4): 450-455.
- [20] 孙娴, 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(4): 625-635.
- [21] 周明昆, 张成稳, 樊在斗. 大理州山地日照时间的时空分布特征[J]. 气象与环境科学, 2011, 34(3): 61-66.
- [22] 陆忠艳, 周军, 邱新法, 等. 日照时间受地形的影响及其精细的空间分布[J]. 南京气象学院学报, 2005(1): 64-71.
- [23] 史玉光, 孙照渤, 杨青. 新疆区域面雨量分布特征及其变化规律[J]. 应用气象学报, 2008(3): 326-332.
- [24] 贺晋云, 张明军, 王鹏, 等. 新疆气候变化研究进展[J]. 干旱区研究, 2011, 28(3): 72-76.
- [25] 刘佳, 何清, 刘蕊, 等. 新疆太阳辐射特征及其太阳能资源状况[J]. 干旱气象, 2008(4): 61-66.
- [26] 孙娴, 林振山, 王式功. 山区地形开阔度的分布式模型[J]. 中国沙漠, 2008(2): 344-348.

Simulated Spatial Distribution of Sunshine Hours Based on DEM in Xinjiang

CHEN Pengxiang^{1,2}, PENG Dongmei³, ZHANG Xu¹

(1. Xinjiang Climate Center, Urumqi 830002, China; 2. Xinjiang Government Investment Review Center, Urumqi 830002, China; 3. Xinjiang Agriculture Network Information Center, Urumqi 830002, China)

Abstract Sunshine hours was simulated by spatial distribution model with digital elevation model resolution 500 m by 500 m in Xinjiang region based on raster data of latitude, slope and slope direction. The influence of terrain factors on sunshine hours were discussed and the temporal variation characteristics were analyzed. Sunshine time were most in July (441 h) and least in December (266 h). The reason for the large mean square deviation was that the regional contribution rate of 1500 m above sea level reached 80.1%. Zonal distribution was obvious in winter and summer. The sunshine time has significantly difference from mountains and ground that with the same latitude. The greater terrain slope received the less sunshine time. In the winter, the slope was influence to the sunshine time obviously about more sunshine in southern slope than the northern. The terrain opening extent and sunshine hours showed a positive correlation increase.

Key words sunshine hours; digital elevation model; distributed model; Xinjiang