

起伏地形下地理可照时数空间分异分析

——以重庆市为例

张秀美¹, 何志明^{1,2,3}, 李月臣^{1,2}, 李军^{1,2}

(1. 重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 400047;

2. GIS 应用研究重庆市高校重点实验室, 重庆 400047; 3. 重庆市地理信息中心, 重庆 400020)

摘要:基于重庆市 100 m×100 m 分辨率的数字高程模型,利用 Solar Analyst 模型对各月份地理可照时数进行了模拟,并通过空间叠加运算进一步求得了季、年地理可照时数。季节和月地理可照时数变化表明重庆市夏季地理可照时数最长,以 6 月最高;冬季地理可照时数最小,以 12 月最低,地形遮蔽对可照时数的影响显著,可明显影响可照时数的局地空间分布。结合坡度、坡向因子,对起伏地形条件下地理可照时数模拟结果进行了时空分布特征分析。分析结果表明,同坡度不同坡向的地理可照时数都随着太阳高度角的增大而增加;同坡向的地理可照时数随着坡度的增加而减小;坡度越高地理可照时数受坡向影响程度越大。

关键词:起伏地形;地理可照时数;数字高程模型;Solar Analyst;重庆市

中图分类号:P422.1⁺1;P463.21

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)05-0287-04

Analysis of Spatial Variability of Possible Sunshine Duration on Rugged Terrain

—A Case Study in Chongqing City

ZHANG Xiu-mei¹, HE Zhi-ming^{1,2,3}, LI Yue-chen^{1,2}, LI Jun^{1,2}

(1. College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing

400047, China; 2. Key Laboratory of GIS Application, Chongqing Municipal Education

Commission, Chongqing 400047, China; 3. Chongqing Geomatics Center, Chongqing 400020, China)

Abstract:Based on DEM data with 100 m resolution, average monthly possible sunshine duration is simulated using Solar Analyst model in Chongqing City. Then seasonal and annual possible sunshine durations are obtained by calculating spatial data. Results showed that possible sunshine duration is higher in summer and lower in winter. Therefore, it is the highest in June and the lowest in January. And we can see that the effect of terrain on possible sunshine duration is obvious in winter, the solar altitude angle is low at that time. Combined with topographic factors such as slope, aspect derived from DEM, spatial distribution characteristics of possible sunshine duration are analyzed. Result suggests that possible sunshine duration in the same slope increases with solar altitude angle, while possible sunshine duration in the same aspect increases with the slope decreases. The higher effect of aspect on possible sunshine duration is in the higher slope.

Key words:rugged terrain; possible sunshine duration; digital elevation model; Solar Analyst; Chongqing City

地理可照时数不同于天文可照时数,它的计算过程加入了地理因子,是考虑了地形遮蔽的影响而不考虑大气影响的最大日照时数。实际运用过程中地理可照时数较天文可照时数更有意义^[1-2],广泛用于生态系统变化模型^[3]、农业生产规划^[4-5]和太阳能利用设计研究^[6]。同时也是实际日照时数进行精细空

间模拟的基础^[7],为气候变化研究^[8-9]、山地资源可持续利用和生态环境恢复建设^[10]提供科学依据。因此,地理可照时数空间分布特征的精细化研究十分重要。曾燕等^[11]在考虑地形遮蔽的前提下基于 PCI 平台建立了实际起伏地形下可照时数分布式计算模型。陆忠艳等^[12]以上述模型为基础对 1 km×1 km 尺度

收稿日期:2012-12-20

修回日期:2013-03-17

资助项目:重庆市气象局开放基金(Kfj-201103);重庆市博士后特别资助基金(渝 xm201102001);资源环境与生态建设重庆市高校创新团队基金

作者简介:张秀美(1987—),女,山东临沂人,硕士生,主要从事旅游气候与区域旅游开发。E-mail:hezhiming2006@163.com

通信作者:李月臣(1974—),男,山东德州人,教授,主要从事资源环境遥感与 GIS 研究。E-mail:liyuechen2008@qq.com

下中国的地理可照时数进行了精细空间模拟,并探讨了其受地形的影响。但是 1 km 的空间尺度较难有效反映微观细节,不能明显地体现可照时数在小空间尺度上的分布状况与差异性。另外虽然该模型应用效果较好,但是应用不够广泛。李军等^[13]以 20 m×20 m 分辨率的小尺度数字高程模型(DEM)为基础分析了县域单位地理可照时数空间分布特征,效果较好。张勇等^[14]从不同地貌类型和不同空间尺度两个方面对地理可照时数进行了地形与空间尺度效应研究,分析较为全面科学。具体到重庆,查书平等^[15]基于 100 m×100 m 分辨率的 DEM 计算了地理可照时数,并结合日照百分率得到空间化实际日照时数,但是对地理可照时数空间分异特征的分析不够充分。

重庆市地貌分为西部丘陵区、中部平行岭谷区、东部盆周山地区,地貌形态独特,空间差异明显,适于选择该区域进行地理可照时数空间模拟,并进行分布特征规律的深入研究。以 ArcView 为计算平台开发的 Solar Analyst 工具能够很好地模拟起伏地形条件下的地理可照时数,且参数设置简单,应用较为方便,国内还鲜见相关利用研究。因此本文尝试利用 Solar Analyst 模型,首先进行局地 DEM 尺度效应的验证,分析起伏地形下 DEM 分辨率的选择对地理可照时数计算结果的影响;在此基础上选择 100 m×100 m 分辨率的 DEM 数据,计算重庆市各月地理可照时数;并详细分析地形因子对地理可照时数空间分布的影响规律。

1 研究方法

本研究采用 Solar Analyst 模型计算起伏地形下的可照时数,该工具是以 DEM 数据为基础,根据半

球视域算法来计算日照时长。(1)从 DEM 获取待求栅格地形信息,计算仰视半球视域,即开阔度。(2)将特定日期太阳运行轨迹离散化为 n 个时段。根据太阳视轨道方程计算每个时段的太阳高度角和方位角,积分形成一天的直射太阳图,与视域叠加判断一天中可照时段。重复上述过程,生成该日期的空间化日照图,并积分生成月、年日照图。具体见参考文献^[16-17]。

2 结果与分析

2.1 地理可照时数尺度效应分析

在对地理可照时数进行计算时需要考虑 DEM 空间分辨率导致的尺度效应^[14]。通常情况下,高分辨率的 DEM 能够更好地拟合真实地表,误差较小,计算地理可照时数能够得到较高精度,但运算量会成倍增加。而低分辨率的 DEM 对地表的概括程度高,微观地形因子描述能力差,地理可照时数模拟结果平滑,误差相对较大,尤其是山区。因此,本研究选择地形起伏大的渝东北大巴山、巫山褶皱山系区做 DEM 尺度效应验证,验证时间为一月份。

表 1 表明,随着 DEM 分辨率从 100 m 降低到 800 m,地理可照时数平均值平缓上升,标准差平缓下降;说明随着 DEM 分辨率降低,描述地表的概括程度不断增加,小尺度的地形起伏被忽略,使得区域整体地理可照时数模拟值趋于增加,空间差异降低。而 800 m 分辨率以下,这一规律性的变化消失,说明对于渝东北山区而言,800 m 以下分辨率的 DEM 不适用,模拟结果会存在较大误差。基于以上尺度效应分析,结合实际工作量,本研究选择 100 m×100 m 空间分辨率的 DEM 来模拟地理可照时数。

表 1 样区不同分辨率计算结果统计特征值

项目	100 m	300 m	500 m	700 m	800 m	900 m	1000 m	2000 m
最大值	311	311	311	311	311	311	311	311
最小值	0	0	0	0	1	0	0	0
平均值	224.0	248.1	259.3	266.2	268.8	232.4	236.3	238.0
标准差	63.5	48.1	39.6	34.2	32.0	68.9	66.1	68.8

2.2 年地理可照时数空间特征

重庆市全年地理可照时数最大值为 4 228 h,最小值为 286 h,平均约 3 606.3 h。在复杂的地形条件下,年地理可照时数空间分布呈现出西部高,东部低的特征。以 500 m 等高线将重庆市分为东西两部分,做进一步分析。其中年地理可照时数最大值和最小值均出现在东部。1 km×1 km 范围内年地理可照时数标准差以东部区域最大,约为 1 423 h,平均约为 250 h;西部最大约为 1 039 h,平均约为 147 h,西部标

准差明显小于东部。这是由于重庆市 500 m 等高线西部以丘陵、平行岭谷地貌为主,地形起伏度总体较小,地形遮蔽作用小;而东部以中山为主,包括大巴山、巫山、七曜山等,地形起伏大,遮蔽作用明显,造成地理可照时数明显的空间差异性。以上定量的分析表明了地理可照时数空间分异与地形起伏度相关性显著(附图 10)。

2.3 四季及各月地理可照时数空间特征

按春、夏、秋、冬四季分析地理可照时数空间分布

的季节特征(附图 11、表 2)。全市四季地理可照时数均值排序为:夏季>春季>秋季>冬季,最大值、最小值的季节分布也呈现相同的趋势。四季地理可照时数标准差排序为:冬季>秋季>夏季>春季。这是由于秋冬季太阳高度角低,地形影响明显,表现为可照时数空间差异大,色调变化明显;而春夏季太阳高度角高,背阴坡也可接受较多太阳辐射,地理可照时数受坡度、坡向影响不明显,空间差异较小。

对地理可照时数按月统计,如图 1 所示。考虑到月均可照时数统计过程中会受到各月天数不一致的影响,因此进一步计算月均日值,以便于月份之间比较。地理可照时数月均日值趋势线呈现明显的以 6 月份为顶点的抛物线状,其中 6 月份最高,为 11.64 h/d,12 月份最低,为 7.76 h/d。月际变化趋势反映了太阳高度角是决定年内各月地理可照时数的主导因素。表征各月地形影响下地理可照时数空间总体差异的标准差以 4 月和 9 月相对较低,分别为 31.4 h/月和 31.8 h/月,且夏半年各月相差不大;以 12 月最高,为 50.4 h/月,冬半年各月差异明显。以上数据表明春分日和秋分日附近起伏地形下地理可照时数空间差异最小,冬至日附近空间差异最大。

表 2 重庆市四季地理可照时数统计 h

季节	春季	夏季	秋季	冬季
最大值	1128	1213	996	920
最小值	76	195	0	0
平均值	977.8	1048.1	838.1	740.8
标准差	97.1	98.2	107.0	131.0

2.4 地形因子对地理可照时数空间分布的影响

为了深入揭示地形因子对地理可照时数的影响机制,选取地形起伏较大的 31°30'N 附近的渝东北部区域,对地理可照时数随坡度、坡向及月份的变化进行细致分析。

在同坡度,不同月份,起伏地形下月地理可照时数随坡向的变化规律。坡度为 20°时,月份选择为 4 月、7 月、10 月、1 月,一定程度上可以代表春、夏、秋、

冬四季。从图 2a 可以看出,20°坡度各个坡向都是 7 月份地理可照时数最长,其次为 4 月份和 10 月份,1 月份最短。随坡向的变化,7 月份和 4 月份的地理可照时数呈现出波浪线趋势,南坡(180°)附近和北坡(0°和 360°)附近相对较长,东坡(90°)和西坡(270°)附近最短;10 月份也有类似的变化趋势,以南坡地理日照时数最长;1 月份则呈明显的以南坡为对称轴,地理日照时数向两边坡向逐渐降低的抛物线趋势,北坡最短。以上分析可以说明同纬度、同坡度条件下,太阳高度角不同,坡向对地理可照时数的影响程度也不同。

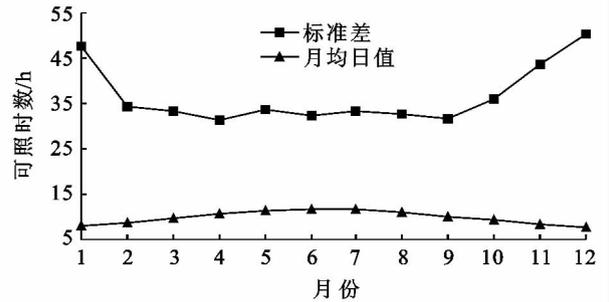


图 1 重庆市各月地理可照时数统计折线

同月份,不同坡度,起伏地形下月地理可照时数随坡向的变化规律。选取的坡度分别为 10°,20°,30°,40°。考虑到月份不同,地理可照时数随坡向变化趋势不同,分别选择 1 月份和 7 月份作为典型月,进行全面的分析。从图 2b 和图 2c 可以看出,0~40°坡度范围内,1 月和 7 月地理可照时数都随着坡度的增加而减小;各坡度地理可照时数随坡向的变化都表现为 1 月份呈抛物线,7 月份呈波浪线的趋势;且坡度越高,该趋势越显著,表现出明显的峰谷;坡度为 10°时,峰值和谷值差异最小,40°时差异最大,说明不同坡向上地理可照时数随坡度变化而增减的幅度不一致。另外,受太阳高度角影响,1 月份南坡附近各坡度上地理可照时数趋于相同,北坡附近差异较大;7 月份北坡附近各坡度上地理可照时数差异较小,东坡和西坡附近差异最大。

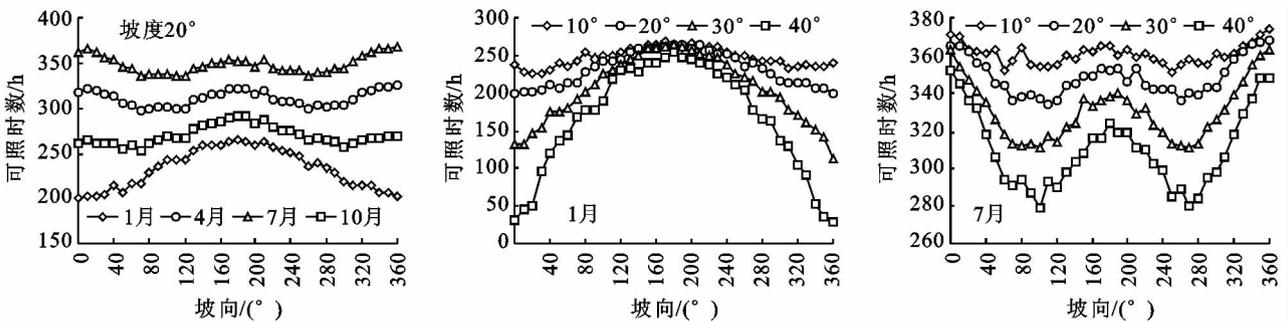


图 2 地理可照时数受地形因子影响变化规律曲线

3 结论

本研究选择国内研究中较少使用的 Solar Analyst 工具模拟起伏地形条件下的地理可照时数,该模型应用过程中参数设置简单,应用方便;模拟结果能够反映出地形因子的影响规律,适于进行起伏地形下高精度日照分布空间模拟。地理可照时数尺度效应分析表明:在地形起伏度较大的渝东北山区,随着 DEM 空间分辨率的降低,地理可照时数模拟值增大,空间差异减小;降低到 800 m 以下时,这规律消失,因此该区域进行地理可照时数模拟及空间特征分析时 DEM 分辨率至少不能低于 800 m。

年地理可照时数空间分异与地形起伏度的相关性显著。在复杂的地形条件下,年地理可照时数空间分布呈现出西部低山丘陵区高,东部中山区域低的特征;最大值和最小值均出现在东部;1 km×1 km 范围内年地理可照时数空间标准差以东部最大。

四季地理可照时数排序为:夏季>春季>秋季>冬季,其中 6 月份月均日值最高,为 11.64 h/d,12 月份最低,为 7.76 h/d;四季地理可照时数空间差异表现为冬季>秋季>夏季>春季,4 月和 9 月空间差异最小,12 月最大,冬半年各月地理可照时数空间差异最大,夏半年各月差异最小。

同纬度、同坡度下,7 月份地理可照时数最长,其次为 4 月和 10 月,1 月最短;太阳高度角不同,坡向对地理可照时数的影响程度也不同;7 月份和 4 月份地理可照时数呈现南坡和北坡附近地理日照时数较长,东坡和西坡附近相对较短的波浪线趋势;1 月份则表现为明显的以南坡为对称轴,地理日照时数向两边坡向逐渐降低的抛物线趋势。坡度影响表现为:随着坡度的增加各坡向可照时数变化的幅度不一致,坡度越高,变化幅度越大,峰谷趋势越明显。

参考文献:

[1] Javier G C. Vectorial algebra algorithms for calculating terrain parameters from DEMs and solar radiation modeling in mountainous terrain[J]. *Int. J. Geographical Information Science*, 2003, 17(1): 1-23.

- [2] 王丽,邱新法,王培法,等.复杂地形下长江流域太阳总辐射的分布式模拟[J]. *地理学报*, 2010, 65(5): 543-554.
- [3] 陈进,陈步峰,潘勇军,等.帽峰山常绿阔叶林辐射通量特征[J]. *生态学报*, 2011, 31(22): 6766-6776.
- [4] 高阳华,陈志军,杨世琦,等.基于 GIS 的重庆市再生稻光热资源适宜性区划[J]. *长江流域资源与环境*, 2011, 20(6): 672-676.
- [5] 文倩,崔卫国,何利.局地气候条件下的土地利用空间格局分析:以湖南醴陵市为例[J]. *水土保持研究*, 2009, 16(2): 82-86.
- [6] 王哲,王飞,刘力卿,等.基于多元回归分析的光伏电站太阳辐射曝辐量模型[J]. *华北电力大学学报*, 2011, 38(5): 53-58.
- [7] 李军,黄敬峰,王秀珍.基于 GIS 的山地实照时数的时空分布特征[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(7): 108-113.
- [8] 赵金忠,赵年武,赵恒和,等.贵德县近 50 年气候变化及对冬小麦生产潜力的影响[J]. *水土保持研究*, 2012, 19(4): 260-264.
- [9] 张星,陈惠,林秀芳,等.近 45 年闽江流域气候变化特征分析[J]. *水土保持研究*, 2009, 16(1): 107-110.
- [10] 赵文武,吕一河,郭雯雯,等.陕北黄土丘陵沟壑区 NDVI 与气象因子的相关性分析[J]. *水土保持研究*, 2006, 13(2): 112-114.
- [11] 曾燕,邱新法,缪启龙,等.起伏地形下我国可照时间的空间分布[J]. *自然科学进展*, 2003, 13(5): 545-548.
- [12] 陆忠艳,周军,邱新法,等.可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, 28(1): 64-71.
- [13] 李军,黄敬峰.基于 DEM 的山地可照时间的空间分布[J]. *浙江大学学报:理学版*, 2007, 34(3): 346-350.
- [14] 张勇,陈良富,柳钦火.日照时间的地形影响与空间尺度效应[J]. *遥感学报*, 2005, 9(5): 521-530.
- [15] 查书平,陈志军,高阳华,等.基于 GIS 的重庆地区实际日照时间空间分布研究[J]. *气象科学*, 2008, 28(5): 548-551.
- [16] Fu Pinde, Paul M R. *The Solar Analyst 1.0 Manual*. Helios Environmental Modeling Institute (HEMI), USA, 2000.
- [17] Fu Pinde, Paul M R. A geometric solar radiation model with application in agriculture and forestry[J]. *Computer and Electronics in Agriculture*, 2002, 37(1/3): 25-35.