

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

陈华, 孙丹峰, 段增强, 张凤荣

(中国农业大学资源与环境学院, 土地资源系, 北京 100094)

摘 要: 本文建立了一种基于数字高程模型(DEM)的山地日照时数模拟方法, 并以北京西山门头沟区为例进行各月 15 日日照时数模拟与验证分析。结果表明, 该区两个气象站的模拟值与实测值都具有较好的一致性($R^2=0.9722$ 、 0.9469); 在此基础上得到该区日照时数的分布时空变化特点: 在时间上, 夏季最多, 春秋相当, 冬季最少, 全区冬季的变异比夏季更为显著; 在空间上, 不同地貌条件下阴阳坡的日照时数表现出显著差异。该方法避免了图解法中遮蔽图获取的大量野外测量工作和克服了经验方程依赖站点数目以及它和解析法对地形遮蔽欠考虑的缺陷, 但该方法需要有一定精度的 DEM 支持。该方法能较为准确和定量地反映山地日照时数时空分布规律, 因此在山地资源可持续利用和生态环境恢复建设中具有较强的理论与实践意义。

关键词: 山地; 数字高程模型; 日照时数时空分布; 地理信息系统

中图分类号: P46; P91

文献标识码: A

1 引言

山地复杂地形条件下日照条件的时空变异是形成山地地形气候主要因素, 也是构成山地生境条件的重要因素。为了研究山地地形气候特点及基生境特点, 必须研究山地日照条件并掌握其时空分布规律, 结合区域资源环境背景, 进行区域变化特点分析, 为山地资源可持续利用和生态环境恢复建设奠定科学的基础。

本研究以 GIS 为手段, 在前人研究的基础上^[1~6], 建立一种基于数字高程模型(DEM)的日照时数模拟新方法, 并以北京西山门头沟区为例, 进行区域日照时数的模拟, 利用气象统计资料对模拟结果进行验证, 结合其资源环境背景进行区域日照时数时空分布与变化特点分析, 并探讨该方法的优势以及在应用中应当注意的问题。

2 研究区域与日照时数模拟方法

2.1 研究区域与资料准备

门头沟区位于北京市西部(115°25'E~116°10'E, 39°48'N~40°10'N), 东西长 62 km, 南北宽 34 km, 总

面积 1 455 km², 其中山地约占 98.5%, 为北京西山的中心组成部分。全区最高峰是东灵山, 海拔 2 303 m, 也是全市最高峰; 次高峰为百花山, 海拔 1 900 m。全区山脉属太行山系, 地势西北高, 东南低, 全区地势最低处, 海拔仅 73 m, 相对高差 2 230 m。本区地处半湿润半干旱区, 自然条件具有明显垂直变化, 地貌复杂多样, 地形变化梯度明显。

为进行日照时数时空分布模拟, 我们收集了北京市门头沟区 1:5 万地形图, 北京市气象统计资料(1955~1980^[7])。利用 GIS 软件, 在数字化地形图的基础上, 建立了研究区 DEM 模型, 提取相应的高程图、坡度图、坡向图, 栅格大小为 100 m×100 m, 研究区域共 488 行, 708 列, 141 979 个有效栅格。

2.2 基于 DEM 模型的日照时数模拟方法

对于任意日期的日照时数, 按如下步骤进行模拟:

1. 从 DEM 第一行第一列开始, 顺次读入栅格 $G_{i,c}$ 的地理坐标为 (λ, φ) , 海拔高度 H , 指定模拟的日期, 利用下列公式^[5] 计算栅格的日出时角 ω_r 、日没时角 ω_s

$$\omega_r = -\arccos(-\tan\varphi \tan\delta - 0.0177 \sqrt{H} \sec\varphi \sec\delta) \quad (1)$$

$$\omega_s = \arccos(-\tan\varphi \tan\delta - 0.0177 \sqrt{H} \sec\varphi \sec\delta) \quad (2)$$

收稿日期: 2002-06-25。

基金项目: 国家自然科学基金(No. 3000100); 北京市科委“十五”项目(No. 955421000)和市基金(No. 4022005)资助。

作者简介: 陈华(1977-), 男(汉族), 山东临沂人, 中国农业大学土地资源管理专业硕士, 研究方向为土地资源。现为中国科学院地理科学与资源研究所博士生。E-mail: chen_hu@cau.ac.cn

©1994-2008 China Academic Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

式中 φ 为地理纬度, δ 为赤纬, H 为海拔高度(单位为 km)。其中, 赤纬 δ 用下面公式计算

$$\delta = 23.45 \times \sin\left(\frac{n+284}{365}\right) \times 360 \quad (3)$$

式中 n 为日期序列号, $n=1, 2, \dots, 365$; 1月1日 $n=1$, 12月31日 $n=365$ 。

2. 指定时角 ω 离散数目 N ; 计算时角间隔 $\Delta\omega$ 及其相应的时间长度 $\Delta t(h)$

$$\Delta\omega = \frac{\omega_s - \omega_r}{N} \quad (4)$$

$$\Delta t = \Delta\omega / 15 \quad (5)$$

3. 令 $\omega_i = \omega_r + I \times \Delta\omega$ ($I=0, 1, 2, \dots, N-1$), 计算其相应的太阳方位角 h_i 与太阳高度角 A_i ^[5]

$$h_i = \arcsin(\sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \cos\omega_i) \quad (6)$$

$$A_i = \arcsin\left(\frac{\cos\delta \sin\omega_i}{\cos h_i}\right) \quad (7)$$

4. 判断方位角 h_i 、高度角 A_i 方向、距离 D 范围内, 是否存在地形遮蔽。有遮蔽则

$$\text{令 } S_i = 0$$

$$\text{否则令 } S_i = 1$$

对于指定距离 D 离散数目 M , 有

$$D_j = j \times \frac{D}{M} \quad (j=1, 2, 3, \dots, m) \quad (8)$$

$$\alpha_i = \max_{j=1}^m \left\{ \arctan \frac{H_j - H}{D_j} \right\} \quad (9)$$

式中 H_j 为方位角 h_i 方向、距离 D_j 处的栅格的海拔高度。

5. 栅格 G_{rc} 给定日期的可照时数 T 为

$$T = \sum_{i=1}^N S_i \times \Delta t \quad (10)$$

$$\text{式中 } S_i = \begin{cases} 0 & \alpha_i < A_i \\ 1 & \alpha_i \geq A_i \end{cases} \quad (11)$$

通过上述模式, 我们计算了研究区域 DEM 中每个栅格的可照时数。采用的技术参数为

$$N = 36,$$

$$D = 2000,$$

$$M = 20.$$

对于月、年的可照时数的计算, 可以将上述模式计算得到的每日可照时数求和即可。在一般情况下, 也可以利用每月 15 日的可照时数作为该月平均可照时数。本研究计算了门头沟区每月 15 日的可照时数, 相应求出各月和全年的可照时数。

对于任意日期实际日照时数通过可照时数乘以

区域同期日照百分数(R)计算, 即

$$T_s = R \times T \quad (12)$$

3 门头沟区日照时数时空变化特点分析

3.1 模拟结果检验

表 1 给出了门头沟区两个气象站日照时数的模拟值和实测值, 相关系数 (R^2) 分别为 0.9722 和 0.9469, 表明模拟值和实测值之间具有较好的一致性, 模拟结果较好。

3.2 门头沟区的可照时数的时间变化特征

我们得到门头沟各月可照时数, 见表 2。

通过上表可以看出: 门头沟区可照时数的基本规律是, 夏季最多, 春秋相当, 冬季最少。而且, 夏季可照时数在全区的差异, 要比其他季节更为缓和, 这是因为, 夏季太阳高度角大, 造成的地形遮蔽区域小, 所以, 5~7 月间全区可照时数较平均。而秋冬两季, 太阳高度角小, 地形遮蔽区域较大, 个别地区全天无日照, 即可照时数为 0。

3.3 门头沟区的可照时数的空间变化特征

门头沟区的可照时数, 除了上述时间上的变化之外, 还存在空间上的变异, 即上面提及的, 在同一月份, 本区不同地点的可照时数存在显著差异。这种差异往往由于地形遮蔽引起。特别是在冬至日, 太阳高度角达到全年最小值, 地形遮蔽面积最大, 区域可照时数的空间变化特征最明显, 下面就以门头沟区冬至日为例, 探讨可照时数的空间变化特征。

在门头沟区范围内, 纬度跨度只有 45', 虽然海拔高度差异比较明显, 但直接由此造成的可照时数空间差异并不大, 而坡向的作用是非常明显的。我们研究了门头沟区至日各种地貌不同坡向的栅格所能获得的可照时数。结果见表 3。

通过上表, 我们可以看出不同地貌条件下阴阳坡的日照条件差异非常明显, 在阶地、台地、亚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数则非常短。这也可以为我们合理地进行山区农业生产布局提供参考。

3.4 门头沟区全年实际日照时数

最后, 我们做出了门头沟区全年实际日照时数分布图(图 1), 可以直接应用于山区土地资源评价、自然保护区规划、山地生态过程等山地资源可持续利用和生态环境恢复建设相关领域的研究中。

表 1 门头沟区气象站逐年日照时数模拟值和实测值(h)

Table 1 Measured and derived sunshine hours in Mentougou meteorological stations(h)

气象站点	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	R ²	
门头沟	模拟值	180.9	178.5	221.2	227.2	276.5	257.2	203.1	206.9	224.3	214.4	176.5	166.8	0.9722
	实测值	192.2	190.7	237.6	231.5	279.0	256.2	201.3	209.9	235.8	224.1	183.6	179.5	
帝 堂	模拟值	169.7	176.5	207.4	223.3	272.2	248.3	194.1	202.6	220.8	202.4	159.2	157.5	0.9469
	实测值	201.6	195.0	221.4	226.7	276.1	249.4	195.6	210.8	231.8	218.9	182.1	185.0	

表 2 门头沟区各月可照时数统计值(h)

Table 2 The every month's statistic of potential sunshine in Mentougou(h)

月份	可照时数	标准差 SD	最小值	最大值	变化范围
1	6.75	2.38	0	9.51	9.51
2	8.37	1.75	0	10.55	10.55
3	10.5	1.24	0	11.74	11.74
4	12.81	0.48	4.57	13.06	8.49
5	13.84	0.51	9.92	14.16	4.25
6	14.4	0.58	10.35	14.78	4.43
7	14.41	0.33	11.65	14.56	2.91
8	12.59	0.7	5.72	13.62	7.9
9	11.43	0.75	1.98	12.37	10.39
10	9.2	1.45	0	11.09	11.09
11	7.35	2.19	0	9.89	9.89
12	6.34	2.53	0	9.24	9.24
全年平均值	10.67	1.24	3.68	12.05	8.37

表 3 门头沟不同坡向的地貌类型单元冬至日可照时数表(h)

Table 3 Potential sunshine hours in various geomorphologic unit on midwinter in Mentougou(h)

地貌类型	平地	阴坡	半阴坡	半阳坡	阳坡	全区平均
阶地	8.08	7.83	8.40	8.76	8.84	8.68
缓坡地	8.26	5.14	7.14	8.15	8.49	7.61
台地	8.68	7.93	8.62	8.79	8.87	8.63
丘陵	8.10	6.93	7.37	8.10	8.52	7.79
低山	8.13	4.94	6.54	7.77	8.41	6.76
中山	7.91	3.38	5.55	7.30	7.97	6.07
亚高山	—	5.15	7.51	8.33	8.56	7.56
河谷	7.75	4.40	6.22	7.59	8.02	6.76
全区平均	8.00	4.01	5.90	7.49	8.08	6.41

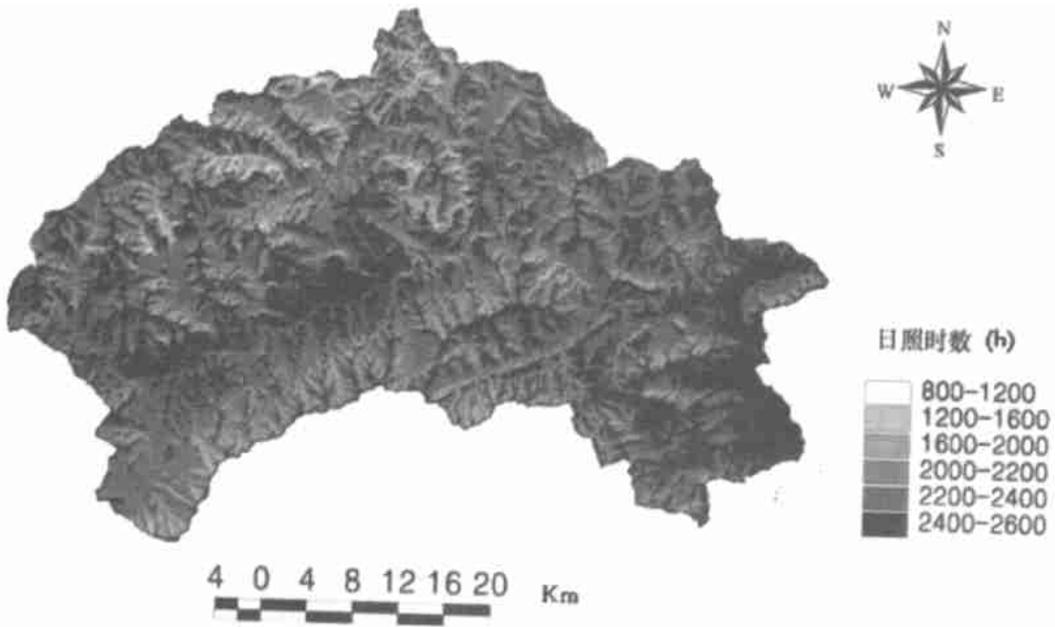


图1 门头沟全年日照时数分布图

Fig. 1 The map of sunshine hours in a year in Mentougou

4 讨论

日照时数是度量太阳辐射时间的气候指标,可分为实照时数和可照时数,两者的百分比称作日照百分率,它表达了天气的晴阴状况。日照的长短影响太阳辐射的分布^[8-10]与农业生产密切相关^[11-12],是决定一个区域生态生产力的主要气候因子之一。在地形复杂的山地,通过有限的气象站的观测数据是远远不足以反映山地复杂的日照分布,因此在山地资源研究中要进行区域日照时数的推算。目前日照时数推算方法主要有三种:一是经验方程法,即利用研究区域若干站点的气象资料,建立区域日照时数随海拔高度、经纬度变化的区域经验方程^[1-3]。这种方法易于理解,操作方便。但是由气象站点数量有限,且往往处于平坦开阔的地点(或山顶),没有地形遮蔽的影响。对于海拔差异悬殊,地形复杂的山地,这种方法往往不能够反映出地形的影响;二是解析法,傅抱璞^[4]提出了坡地和其它一些特殊地形下可照时数的理论计算方法,探讨了坡地日照的特点和变化规律。解决了一些理想化地形的日照时数计算问题。对于具有复杂遮蔽的实际地形,还须实际测定。故前人提出第三种方法,即图解法^[5-6],将测点遮蔽图配上太阳运动迹线来确定遮蔽地点的日出、日落时间和可照时数。此方法考虑了地形的影

响。但在实际工作中,为了确定遮蔽区域内不同点的可照时数,不得不采用经纬仪测绘各点的遮蔽图,工作量大,有时是不可能的。

本文在以上研究基础上建立以GIS为工具,在DEM模型基础上,结合了前人提出的解析法、图解法的以机理模式为主的日照时数模拟方法,与传统方法相比:首先避免了图解法中遮蔽图获取的大量野外测量工作和克服了经验方程依赖气象站点数目以及它和解析法对地形遮蔽欠考虑的缺陷,其次它在模拟的可照时数基础上,结合区域统计资料的模拟方法,可以比较准确地模拟区域实际日照时数;进一步可以反映出山地日照时数的时间和空间上的变化特点。

显然该方法适用于具有一定研究基础的山区,并且需要一定的GIS软硬件支持和一定精度的数字高程模型;另外在实际应用中要注意模型参数的选取,离散数目 M 、 N 和搜索距离 D 的数值选择的越大,结果越准确,但是计算的时间越长,反之,数值选择的越小,结果越粗略,但是计算的时间越短,所以在应用中要根据实际需要确定。

致谢:中国农业大学土地资源系林培教授在百忙中对本文进行了大力斧正,在此深表谢意!

参考文献:

- [1] 王宇. 西双版纳地区日照时数的垂直分布[A], 山地气候文集 [C], 128~129. 北京: 气象出版社, 1984.
- [2] 王宇. 云南山区日照时数的垂直分布[J]. 山地研究, 1993, 11(1): 1~8.
- [3] 马志福, 谭芳. 塔里木盆地日照时数分布规律研究与应用[J]. 资源科学, 2000, 22(2): 40~44.
- [4] 傅抱璞. 山地气候[M]. 北京: 科学出版社[M]. 1983.
- [5] 翁笃鸣, 罗哲贤. 山区地形气候[M]. 北京: 气象出版社, 1990.
- [6] 林少君. 复杂遮蔽区域日照条件的研究[M]. 地理研究 1989, 8(1): 66~71.
- [7] 北京市气象局气候资料室. 北京市气候志[M]. 北京: 北京出版社, 1987.
- [8] Power, Helen C. Estimating clear~ sky beam irradiation from sunshine duration[J]. Solar Energy 2001, 71(4): 217~224.
- [9] Suercke, Hany On the relationship between duration of sunshine and solar radiation on the earth's surface: Angstrom's equation revisited [J]. Solar Energy 2000, 68(5): 417~425.
- [10] Hussain M. etc. Technical note: Techniques to obtain improved predictions of global radiation from sunshine duration Renewable Energy 1999, 18(2): 163~275
- [11] 周治国, 等. 日照时数时间分布对麦套棉铃主要品质性状的影响[J]. 中国农业科学, 1999, 32(7): 40~45.
- [12] 张名福. 立地性日照长短与甜橙生长发育的相关性[J]. 生态学杂志, 1992, 11(2): 54~56.

Sunshine Hours Modeling and Spa-temporal Variation Analysis Based on DEM in Mountainous Area ——Take Mentougou mountain in west Beijing as the example

CHEN Hua, SUN Dan-Feng, DUAN Zeng-Qing and ZHANG Feng-Rong

(Department of Land Resources, College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094 P. R. China)

Abstract: Sunshine hours is an important meteorological and ecological indicator. To understand its complex spa-temporal distribution and variation in mountainous area is essential in the mountain research and development. We proposed an area-based model to estimate daily amounts of sunshine hours based on Digital Elevation Model and the process of sunlight transmission, and took Beijing West Mountain Mentougou district as the example, modeled the monthly distribution of sunshine hours and analyzed the characteristics of its spa-temporal variation. The results demonstrated that the derived values agreed well with the observed values of the two meteorological stations in study area, with $R^2=0.9722$ and 0.9649 respectively. The temporal variation of sunshine hours was strong, with the average value of 14.41 h in July, 10.54 h in March but 6.34 h in December, and characterized by: much in summer, less in winter and moderate in spring and fall. On the contrary, the standard deviation (SD) was much in winter but less in summer, i. e., 2.33 in December, 1.24 in March but 0.33 in July, which meant that the spatial variation of sunshine hours in winter was stronger than other seasons. Then took the sunshine hours of midwinter day as the example and analyzed the characteristics of its distribution in spatial. The results demonstrated that the sunshine hours of units with different slope, aspect and geomorphologic type had notable variation from 3.38 h to 8.87 h. It was suggested that this method could calculate the sunshine hours of different time and space in various slope, aspect, geomorphology and shading condition. So it is important in the understanding of the sunshine hours' spa-temporal distribution and variation of tilted surfaces, and in the research and application of land resources evaluation, natural conservation area planning, ecological process research and other related study subjects in mountainous area.

Key words: mountainous area; DEM; sunshine hours spa-temporal distribution; GIS