

西南生态环境过渡区日照空间模拟及时空演变趋势分析 ——以重庆市为例*

何志明¹, 李月臣^{2,3,4}, 张秀美²

(1. 重庆市地理信息中心, 重庆 401121; 2. 重庆师范大学 三峡生态环境遥感研究所;
3. GIS应用研究重庆市高校重点实验室; 4. 职教师资学院, 重庆 400047)

摘要:利用 Solar Analyst 模型, 结合 DEM、日照百分率, 选择重庆市作为西南生态环境过渡区的代表, 建立了一种起伏地形下日照时数的空间模拟方法, 模拟结果能够精确反映出日照的年内变化及微地形的影响特征。进一步对日照时数时空序列拟合结果进行了 100 m×100 m 像元尺度的分析。结果表明: 1) 全市年均日照时数以东北部最高; 其次为中西部; 东南部、南部偏低。春、夏季以东北部以及中西部日照时数最高, 东南部最低。秋、冬季以东北部为日照高值区, 东南部和中西部为低值区。日照受坡度、坡向以及地形遮蔽影响明显。2) 整体趋势上, 年以及春季、夏季、冬季日照时数均呈现一定的线性减少趋势, 其中年均日照时数 80 年代前后趋势差异明显; 春季经历了减少、增加、平稳 3 个阶段; 夏季减少趋势最明显; 冬季减少趋势最稳定; 秋季无明显变化趋势。3) 空间变化上, 年以及四季日照时数变化趋势存在区域差异, 各季节西部减少最为明显; 秋季中部增加趋势最为显著; 春季盆周山地区增加相对明显; 除春季外, 其他季节东南部日照均呈减少趋势。

关键词:空间模拟; 日照; 时空特征; Solar Analyst 模型; 重庆市

中图分类号: P467

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2015)05-0055-07

太阳辐射是重要的生态环境因子, 而日照时间是地表获取太阳辐射能量多少的决定因素, 是太阳辐射计算的重要参数, 广泛用于生态系统变化模型^[1]、农业生产规划^[2]和太阳能利用设计研究^[3]。受气象观测资料空间不连续影响, 传统研究结果在无站区域往往存在较大误差。GIS 支持下日照时间的精细空间化模拟能使得各项研究精度得到显著提高, 尤其是受坡度、坡向、地形遮蔽影响明显的山区。国内外关于山区日照时间空间化模拟的研究已经较为成熟。曾燕等^[4-5]探讨建立了实际起伏地形下可照时间空间分布计算模型, 袁淑杰等^[6-9]在上述模型的基础上结合日照百分率进一步对起伏地形下实际日照时数进行了空间化模拟。以上研究在实际应用中取得了较高的精度, 但是计算相对较为繁琐, 不利于广泛推广, 因此亟需一种更为简便的方法。

气候变化已成为世界性的热点问题, 近百年来的全球气候变暖已经是一个无可争辩的事实, 但是受生态环境影响, 不同区域对气候变化的响应机制存在一定的差异。日照时数作为重要的气候影响因子, 对其变化规律的分析有利于进一步探求区域气候响应特征的机理。任国玉等^[10]研究认为, 1951 年之后近 50 年中我国日照时数呈明显减少趋势, 且趋减幅度东部大于西部、平原大于山区, 且冬、夏两季大于春、秋两季; 周长艳等^[11-14]等分别对不同区域日照时数时间变化特征进行了研究, 均得出日照时数呈减少趋势的结论。川渝地区气候条件复杂, 日照时数为全国低值区, 古有“蜀犬吠日”之说, 李金建等^[15]研究认为 1961—2006 年四川省大部分区域年日照时数呈减少趋势, 且盆地减少幅度大; 夏季减少趋势最明显, 冬季次之; 陈志军等^[16]研究认为 1961—2000 年重庆市除北部巫山东北小块地方外, 其它地区日照时数都呈明显的下降趋势, 下降主要表现在春、夏、冬三季, 秋季变化不明显。以上相关研究均能够较为准确地反映区域日照时数变化的宏观趋势, 但是存在共同的不足, 即趋势分析基于观测站点数据, 结果在一定程度上仅能代表站点所处区域, 难以精确反映无站区域二维空间上日照的趋势细节特征。

* 收稿日期: 2014-11-26 修回日期: 2015-05-26 网络出版时间: 2015-05-15 12:44

资助项目: 重庆市气象局开放基金(No. Kfj-201103); 重庆市博士后特别资助基金(No. 渝 xm201102001); 重庆市地理学重点学科

作者简介: 何志明, 男, 研究方向为遥感与 GIS 应用研究, E-mail: hezhiming2006@163.com; 通信作者: 李月臣, 教授, E-mail: liyuechen2003@163.com

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20150515.1244.013.html>

基于以上分析,本研究以位于四川盆地东缘,地理、气候等生态环境过渡特征明显、异质性较强的重庆为例,尝试将国内研究中较少采用的 Solar Analyst 模型引入到日照模拟过程,结合站点日照百分率,进行了起伏地形下日照时数的空间模拟。其次,以逐年空间化模拟结果为基础,进行 100 m×100 m 高分辨率像元尺度的起伏地形下日照时数的时空特征分析。

1 数据与方法

1.1 数据与预处理

所用气象资料包括 1960—2010 年重庆市 34 个常规气象站各月日照时数、日照百分率资料,由气象科学数据共享中心提供。所有资料均进行了严格筛选,剔除了奇异值。选择的 DEM 原始数据空间分辨率为 25 m,由于计算过程涉及年份多、数据量大,为了提高速度,将 DEM 重采样为 100 m。

1.2 起伏地形下日照时数模拟

1.2.1 可照时数计算方法 本研究采用 ArcGIS 空间分析模块下的 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研究区日照时长。

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数。重复上述过程,对研究区栅格遍历生成该日期的空间化日照图,逐日积分可生成月、年日照图。具体计算过程见参考文献^[17-18]。

1.2.2 日照时数计算方法 日照百分率即实测日照时数与可照时间之比。根据日照百分率和起伏地形下可照时数即可计算起伏地形下的日照时数。具体计算公式如下:

$$T = T_0 \times S. \quad (1)$$

其中 T 为起伏地形下日照时数, T_0 为起伏地形下可照时数, S 为根据气象站点日照百分率采用反距离权重插值法(IDW)内插生成的重庆市 100 m×100 m 分辨率的空间化日照百分率。

1.2.3 线性趋势分析方法 构建日照时数序列 x_i 与时间序列 t_i 之间的一元线性回归方程:

$$\hat{x}_i = a + bt_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

式中 a 为常数, b 为回归系数。根据最小二乘法,有:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i t_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2} \quad (3)$$

$$a = \bar{x} - b \bar{t}$$

回归系数 b 即日照时数变化的趋势值,其符号表示变量的趋势倾向, $b > 0$ 表示日照时数随时间的增加呈上升趋势;反之, $b < 0$ 表示日照时数随时间的增加呈下降趋势, b 绝对值的大小能够反映上升或下降的速率,绝对值越大,上升或下降趋势越明显。

1.3 精度验证

重庆市地貌类型复杂,不同地形区实照时数模拟精度必然存在差异,因此本文选择沙坪坝、大足、合川等 11 个近期无迁站记录的国家基准气象站和国家基本气象站作为验证站点进行精度验证及误差分析。结合可照时数与日照百分率,通过(1)式模拟得到起伏地形下重庆市历年年均、季均日照时数,并处理成日均值。利用验证站点空间位置提取 2000—2010 年历年实照时数以及四季模拟值,与实测值进行对比。由表 1 可以看出,模拟值平均绝对误差以沙坪坝、大足、长寿、梁平、黔江、綦江、合川等较小,误差基本能控制在 0.5 h 以内,平均相对误差多数低于 10%,仅綦江年均相对误差超过 15%,达到 16.69%;万州、城口平均绝对误差相对较大,介于 0.50~0.99 h 之间,平均相对误差在 12.76%~21.57%之间。

进一步分析发现以上验证站点误差分布与所处的区域地形地貌之间具有一定的对应关系。误差来源主要有以下两方面:1) 站点日照百分率误差。通常情况下站点日照百分率计算过程中采用的可照时间为天文可照时间,即平地状态且无任何遮挡下的理论日照时间。地形绝对平坦的理想状态下,天文可照时间与实际可照时数相等。而在以山地丘陵为主的重庆,气象站点布局很难实现完全平地且无遮挡,因此基于理想状态下的天文可

照时间计算出的站点日照百分率参数本身即存在误差。2) 站点空间精度误差。国内站点经纬度位置信息仅精确到分,站点空间定位时会存在 1 km 左右的误差,这就造成根据点位提取的站点实照模拟值时存在一定的误差,使得检验精度进一步降低。因此可以认为地形遮挡等导致的日照时间误差是引起模拟误差的主要来源;另外,在提高观测站点空间位置精度以及日照百分率观测精度的前提下可以显著降低误差^[8-9]。

表 1 模拟日照时间与实测日照时间差值

Tab. 1 Error analysis between measured and simulated sunshine hours

	平均绝对误差/h					平均相对误差/%				
	春	夏	秋	冬	年	夏	秋	冬	年	
沙坪坝	0.25	0.22	0.31	0.05	0.32	7.60	9.93	7.03	7.59	12.25
大足	0.21	0.19	0.27	0.07	0.28	6.60	8.59	6.56	7.37	10.79
合川	0.43	0.36	0.55	0.14	0.49	9.85	11.80	9.71	10.13	13.50
江津	0.30	0.30	0.43	0.10	0.42	8.82	11.72	8.66	10.55	13.99
长寿	0.23	0.22	0.38	0.08	0.32	6.67	7.78	7.73	6.43	10.36
梁平	0.30	0.31	0.39	0.13	0.41	7.27	9.61	6.92	8.58	11.20
綦江	0.22	0.28	0.47	0.08	0.44	7.55	11.06	10.68	9.86	16.69
黔江	0.25	0.22	0.31	0.05	0.32	7.60	9.93	7.03	7.59	12.25
城口	0.88	0.71	0.99	0.50	0.84	19.53	20.45	18.60	21.15	21.57
万州	0.54	0.48	0.77	0.14	0.59	14.89	16.24	14.27	12.76	18.07

2 起伏地形下重庆市平均日照时数空间分布特征

对 1960—2010 年历年模拟值进一步求平均,得到多年年均日值、多年四季平均日值,分析起伏地形下重庆市日照空间分布特征。其中年均日照时数值域范围为 0.26~3.93 h,全市平均约为 2.66 h,标准差约为 0.38 h。空间区域分布上,以重庆市东北部巫山—七曜山区域最高,日均日照时数普遍在 3.00~3.75 h 之间;其次为中西部区域;东南部、南部区域普遍偏低,日均日照时数多介于 2.25~2.5 h 之间(封三彩图 1 a)。

全市春、夏、秋、冬四季多年日均日照时数分别为 2.85 h, 4.70 h, 2.35 h, 1.18 h。夏季明显高于年均值以及其它各季均值,冬季明显偏低。这主要是由于重庆市夏季易受副高和青藏高压影响,高温晴日相对较多,而冬季受益周山地阻隔及西风带南支槽影响明显,多阴雨。全市春、夏、秋、冬四季多年日均日照时数标准差分别为 0.45 h, 0.55 h, 0.41 h, 0.34 h,这说明日照时数空间差异随季节而不同,夏季日照时数空间差异最大,其次为春秋,冬季最小。空间分布上,春季和夏季日照特征较为相似(封三彩图 1 b, c),以东北部巫山—七曜山区域以及中西部区域日照时数最高,其中春季普遍介于 2.75~3.75 h 之间,夏季普遍介于 5.00~5.50 h 之间;东南部区域最低,其中春季普遍介于 1.75~2.25 h 之间,夏季普遍介于 3.50~4.75 h 之间,主要是由于东南部山区受夏季风影响最早且最明显。秋季和冬季日照特征较为相似(封三彩图 1 d, e),以东北部区域为日照时数高值区,其中秋季普遍介于 2.50~3.75 h 之间,冬季普遍介于 1.50~2.25 h 之间,东南部和中西部差异不大,为低值区,秋季普遍低于 2.25 h,冬季普遍低于 1.25 h,受西风带南支槽影响,又以南部云贵交界处的七曜山西南部—大娄山区域为低值中心。

日照时数在起伏地形下受坡度、坡向以及地形遮蔽影响往往表现出明显的空间差异,相关研究中均得到了很好的证明^[4-6]。为了反映不同地形地貌等条件下坡度、坡向、地形遮蔽导致的日照差异,本研究将重庆市分为 4 个典型地貌区或生态区,分别为渝西方山丘陵区、中部构造平行岭谷区、渝东南巫山、七曜山强岩溶化峡谷中山区、渝东北大巴山构造溶蚀层状中山区(以下简称渝西、中部、渝东南、渝东北);引入日照差异度指标,即 1 km×1 km 范围内最高日照时数与最低日照时数的差值;对不同地貌区的日照时数空间分布特征进行分析。由图 2 可以看出,年以及四季实际日照差异度均呈现渝西、中部、渝东南、渝东北由低到高的排序;表征地表起伏程度的地面粗糙度由低到高排序也为渝西、中部、渝东南、渝东北(图 3);日照差异度与地面粗糙度具有较好的相关性;这说明地形条件越复杂,日照时数空间差异越明显。

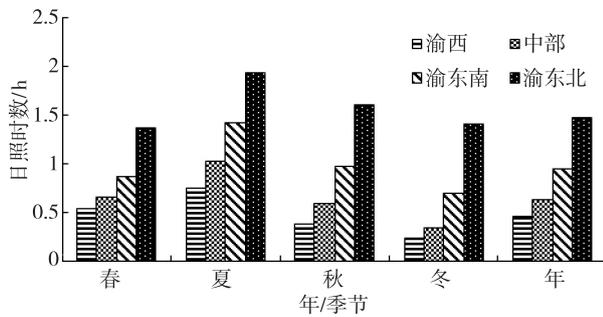


图 2 不同地貌区日照时数变化差异

Fig. 2 The difference of sunshine hours in various topographic types

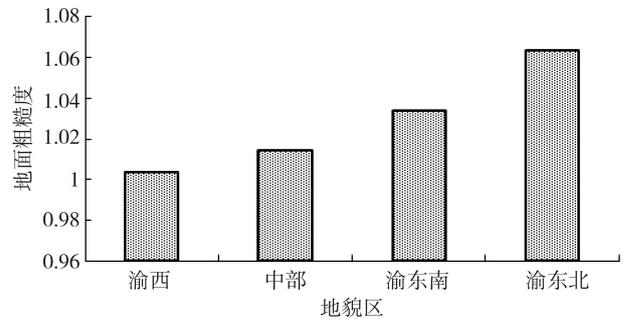


图 3 不同地貌区地面粗糙度差异

Fig. 3 The difference of terrain roughness in various topographic types

3 1960—2010 年起伏地形下重庆市日照时数时空演变特征

3.1 时间特征

对 1960—2010 年各年份年均日照时数日值图以及季均日照时数日值图分别求市域平均,进行时间特征分析。由图 4 a 可以看出,50 多年来重庆市年均日照时数整体呈现较为稳定的减少趋势,年份之间波动不明显,其中 60—70 年代变化相对较为稳定,年代平均分别约为 2.87 h 和 2.91 h,80 年代前期经历了一次相对明显的突然降低趋势,80 年代中期之后又进入缓慢增长期,但是相对不明显,90 年代和 2000—2010 年平均分别约为 2.54 h,2.61 h。

由图 4 b 可以看出,50 多年来春季日照时数整体呈现不明显的减少趋势,但是年代际差异相对较为明显,其中 60 年代—90 年代中期呈现减少趋势;60 年代、70 年代、80 年代、90 年代平均值分别约为 3.04 h,2.88 h,2.73 h,2.61 h;90 年代中期—2003 年前后存在明显的增加趋势;2000—2010 年变化相对较为平稳;年代平均约为 3.02 h。夏季日照时数呈现较为明显的波动减少趋势(图 4 c),60 年代、70 年代、80 年代、90 年代、2000—2010 年平均分别约为 5.09 h,5.37 h,4.32 h,4.54 h,4.28 h。秋季日照时数无明显变化趋势(图 4 d),70 年代中期至 80 年代中期波动相对明显,80 年代中期之后存在一定的增长趋势。60 年代、70 年代、80 年代、90 年代、2000—2010 年分别约为 2.37 h,2.60 h,1.97 h,2.44 h,2.42 h。冬季日照时数变化趋势与年均值较为相似,整体呈现较为稳定的减少趋势(图 4 e),60 年代、70 年代、80 年代、90 年代、2000—2010 年分别约为 1.44 h,1.26 h,1.10 h,1.00 h,1.10 h。另外,夏季日照时数年份波动幅度明显高于冬季,主要是由于重庆市夏季副高和青藏高压系统相对活跃,年份之间变化明显;而冬季西风带南支槽较为稳定,年际差异不大。

3.2 空间特征

利用 ArcGIS 空间分析功能,将 1960—2010 年各年份年均日照时数日值图以及季均日照时数日值图序列与年份序列做线性趋势图,结果如封三彩图 5。由封三彩图 5 a 可以看出,重庆市各区域年均日照时数普遍呈现减少趋势,以 $-0.1 \sim -0.05$ h/10a 减少趋势为主,约占全市面积的 58% 左右,分布于东南和东北两翼以及中部区域; -0.1 h/10a 以下的日照减少区主要分布于西部以及东北部的万州区域,其中大足、璧山、万州形成 -0.2 h/10a 以下的日照减少趋势中心;梁平、丰都、巫山等区域以 $-0.05 \sim 0$ h/10a 减少趋势为主。

由封三彩图 5 b 可以看出,全市春季日照时数变化趋势区域差异性较明显; $-0.05 \sim 0$ h/10a 的日照减少区与 $0 \sim 0.05$ h/10a 的日照增加区面积分别占全市的 33%,31%;交错分布于东北部、东南部和中部;其中 $0 \sim 0.05$ h/10a 的日照增加区主要分布于盆周山地区的大巴山—巫山以及七曜山—武陵山区域。重庆市中西部以及万州区域以 $-0.15 \sim -0.05$ h/10a 减少趋势为主;其中,西部的大足、荣昌范围形成全市日照减少趋势中心。由封三彩图 5 c 可以看出,夏季日照时数减少趋势明显强于其它各季;以 $-0.25 \sim -0.2$ h/10a 和 $-0.3 \sim -0.25$ h/10a 减少趋势为主,分别占全市的 36% 和 24%,分布于东南、中部和东北部;西部的大足、荣昌以及璧山等区域日照减少趋势在 -0.4 h/10a 以下,东北部的万州以及东南部的黔江、秀山也存在 $-0.4 \sim -0.3$ h/10a 的日照减少趋势。由封三彩图 5 d 可以看出,秋季日照时数增加趋势面积相对较大,其中 $0 \sim 0.05$ h/10a 的增加趋势区占全市的 54%,广泛分布于重庆市东北翼和中部区域,巫山、梁平—垫江—长寿、丰都等区域存在 0.05 h/10a 以上的增加趋势中心; $-0.05 \sim 0$ h/10a 的日照减少趋势区约占全市的 34%,主要分布于西部、东南部以及东北部以万州为

中心的区域。由封三彩图 5 e 可以看出,全市冬季日照时数表现出与年均值较为相似的空间趋势特征,以 $-0.1 \sim -0.05 \text{ h}/10\text{a}$ 减少趋势为主,约为 52%左右;但东北部偏西的城口-开县-云阳区域 $-0.15 \sim -0.1 \text{ h}/10\text{a}$ 减少趋势区比重较年均值高。

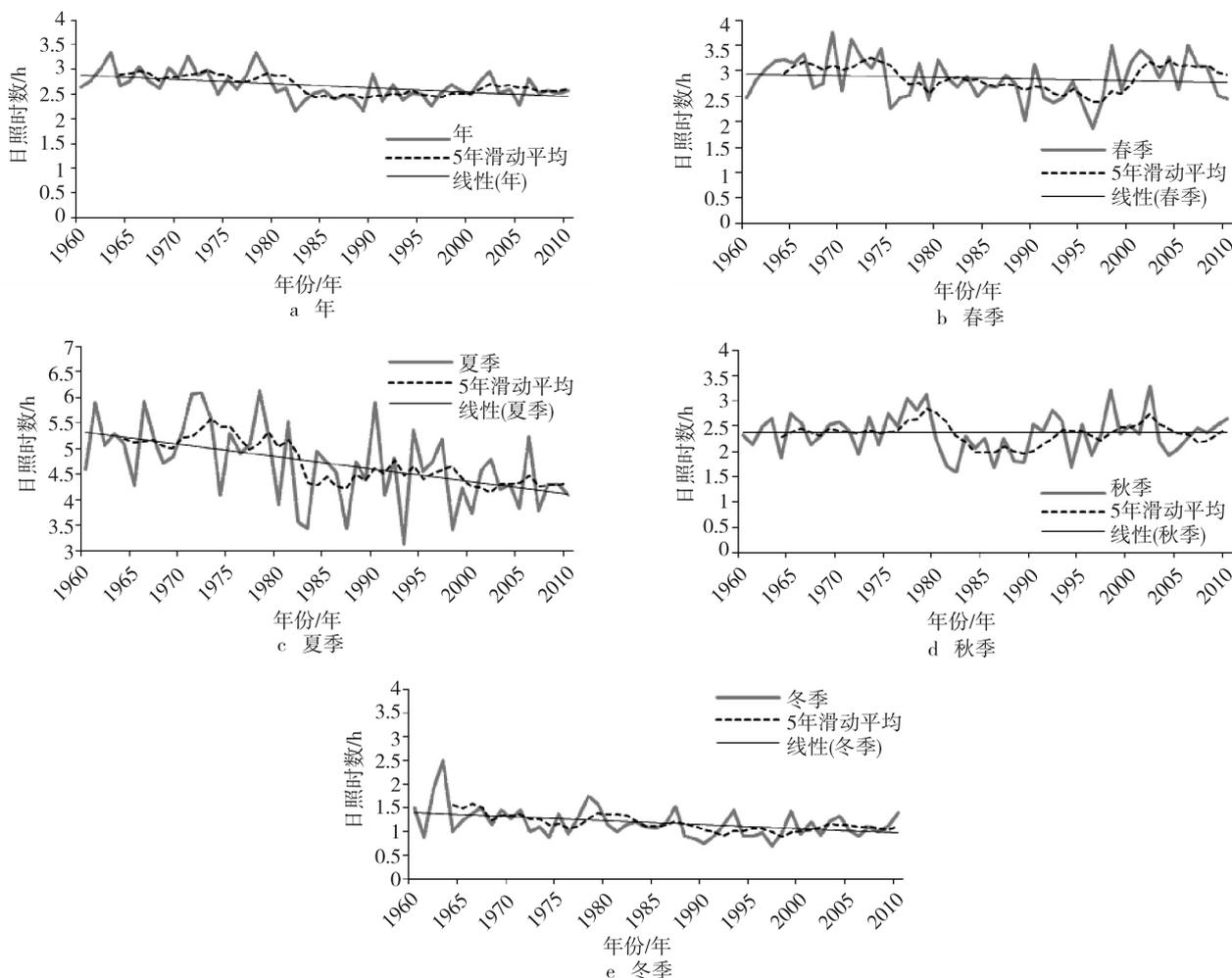


图 4 1960—2010 年重庆市日照时数时间变化趋势

Fig. 4 Change trend of average sunshine hours from 1960 to 2010 in Chongqing

4 结论

本文尝试将国内研究中较少采用的 Solar Analyst 模型引入到日照模拟过程,结合 DEM、站点日照百分率,建立了一种起伏地形下日照时数的空间拟合模型,模拟结果具有较好的稳定性,能够精确反映不同生态分区日照年内变化特征和微地形影响特征。起伏地形下重庆市年均日照时数日值约为 2.66 h;以东北部区域最高;其次为中西部区域;东南部、南部区域偏低。春、夏、秋、冬年均日照时数日值分别为 2.85 h,4.70 h,2.35 h,1.18 h。春夏以东北部、中西部日照时数最高,东南部最低。秋冬以东北部为日照高值区,东南部、中西部为低值区。日照时数受坡度、坡向以及地形遮蔽影响明显,地形条件越复杂,日照时数空间差异越明显。

以逐年空间化模拟结果为基础,进行 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 像元尺度起伏地形下日照时数的时空变化趋势分析表明:

时间特征上,年以及春季、夏季、冬季日照时数均呈现一定的线性减少趋势。其中年均日照时数年份之间波动不明显,仅在 80 年代前期经历了一次明显的突降。春季日照时数整体呈现不明显的减少趋势,但是年代际变化差异相对较大,90 年代中期至 2003 年前后存在明显的增加趋势。夏季日照时数呈现明显波动减少趋势。秋季日照时数无明显变化趋势,80 年代中期之后存在一定的增长趋势。冬季日照时数整体呈现较为稳定的减少趋势。

空间特征上,年以及四季日照时数变化趋势存在明显的区域差异,其中西部区域减少趋势最为明显,为各时段全市减少趋势中心。各区域年均日照时数普遍呈减少趋势,以 $-0.1\sim-0.05$ h/10a 减少趋势为主。春季日照时数变化趋势区域差异性较大;以 $-0.05\sim 0$ h/10a 的日照减少区与 $0\sim 0.05$ h/10a 的日照增加区为主,盆周山地区增加相对明显。夏季日照时数减少趋势最明显;以 $-0.3\sim-0.2$ h/10a 减少趋势为主,分布于东南部、中部和东北部。秋季日照时数以 $0\sim 0.05$ h/10a 的增加趋势面积最大,分布于东北部、中部区域; $-0.05\sim 0$ h/10a 的日照减少趋势区主要分布于西部、东南部以及东北部以万州为中心的区域。冬季日照时数表现出与年均值较为相似的空间趋势特征,以 $-0.1\sim-0.05$ h/10a 减少趋势为主。

参考文献:

- [1] 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.
Chen J, Chen B F, Pan Y J, et al. Characteristics of radiation fluxes of an evergreen broad-leaved forest in Maofeng Mountain, Guangzhou, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(22): 6766-6776.
- [2] 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.
Gao Y H, Chen Z J, Yang S Q, et al. Suitability regionalization of ratoon sunshine and heat resources based on GIS of Chongqing [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2011, 20(6): 672-676.
- [3] 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.
Wang Z, Wang F, Liu L Q, et al. Solar radiation model of photovoltaic power station based on multiple regression analysis [J]. Journal of North China Electric Power University, 2011, 38(5): 53-58.
- [4] 曾燕,邱新法,缪启龙,等.起伏地形下我国日照时数的空间分布[J].自然科学进展,2003,13(5):545-548.
Zeng Y, Qiu X F, Miu Q L, et al. Rugged terrain of the space can be distributed according to the time [J]. Progress in Natural Science, 2003, 13(5): 545-548.
- [5] 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,2007,34(3):346-350.
Li J, Huang J F. Spatial distribution of duration of possible sunshine based on DEM in mountain area [J]. Journal of Zhejiang University: Science Edition, 2007, 34(3): 346-350.
- [6] 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,2008,19(2):233-237.
Yuan S J, Miu Q L, Qiu X F, et al. The Spatial and temporal distribution of insolation duration over rugged terrains in the Guizhou Plateau [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2008, 19(2): 233-237.
- [7] 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.
Zha S P, Chen Z J, Gao Y H, et al. Research of spatial distribution of real sunshine hours based on GIS in Chongqing [J]. Scientia Meteorologica Sinica, 2008, 28(5): 548-551.
- [8] 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,2002,20(5):559-563.
Chen H, Sun D F, Duan Z Q, et al. Sunshine hours modeling and spa-temporal variation analysis based on DEM in mountainous area—take mentougou mountain in west Beijing as the example [J]. Journal of Mountain Science, 2002, 20(5): 559-563.
- [9] 李军,黄敬峰,王秀珍.基于 GIS 的山地日照时数的时空分布特征[J].农业工程学报,2006,22(7):108-113.
Li J, Huang J F, Wang X Z. Temporal and spatial distribution characteristics of sunshine duration based on GIS in mountainous areas [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(7): 108-113.
- [10] 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):942-952.
Ren G Y, Guo J, Xu M Z, et al. Climate changes of China's terrestrial over the past half century [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2005, 63(6): 942-952.
- [11] 周长艳,杨秀海,李跃清,等.“日光城”拉萨日照时数的变化特征[J].资源科学,2008,30(7):1000-1004.
Zhou C Y, Yang X H, Li Y Q, et al. Changes in sunlight duration in Lhasa, the “city of sunlight” [J]. Resources Science, 2008, 30(7): 1000-1004.
- [12] 杜军,边多,胡军,等.西藏 35 年日照时数的变化特征及其影响因素[J].地理学报,2007,62(5):2-4.
Du J, Bian D, Hu J, et al. Climatic change of sunshine duration and its influencing factors over Tibet during the last 35 years [J]. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(5): 2-4.
- [13] 杨东,刘洪敏,郭盼盼,等.1956—2008 年辽宁省日照时数变化特征[J].干旱区研究,2010,27(6):885-891.
Yang D, Liu H M, Guo P P, et al. Characteristic on sunshine duration in Liaoning province during the period from 1956 to 2008 [J]. Arid Zone Research, 2010, 27(6): 885-891.
- [14] 伍红雨,杜尧东,潘蔚娟.近 48 年华南日照时数的变化特征[J].中山大学学报:自然科学版,2011,50(6):120-129.

- Wu H Y, Du Y D, Pan W J. The change characteristics of sunshine duration during the past 48 years in South China [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2011, 50(6): 120-129.
- [15] 李金建, 秦宁生, 孙善磊, 等. 基于均一性检验的 1961 年至 2006 年四川省日照变化规律研究[J]. *资源科学*, 2011, 33(5): 1002-1009.
- Li J J, Qing N S, Sun S L, et al. Analysis of variation in sunshine duration in Sichuan province based on the homogeneity test [J]. *Resources Science*, 2011, 33(5): 1002-1009.
- [16] 陈志军, 查书平, 高阳华, 等. 重庆市日照时间变化规律和特征分析[J]. *南通大学学报: 自然科学版*, 2008, 7(2): 55-59.
- Chen Z J, Zha S P, Gao Y H, et al. Characters and rules of the variation of sunlight radiation duration in Chongqing [J]. *Journal of Nantong University: Natural Science Edition*, 2008, 7(2): 55-59.
- [17] Dubayah R, Dozier J, Davis W F. Topographic distribution of clear sky radiation over the Konza Prairie, Kansas [J]. *Water Resources Research*, 1990, 26(4): 679-690.
- [18] Kumar L, Skidmore A K, Knowles E. Modeling topographic variation in solar radiation in a GIS environment [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 1997, 11(5): 475-497.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

Simulation and Spatio-temporal Analysis of Sunshine in Southwest Ecological Transition Zone: a Case Study in Chongqing

HE Zhiming¹, LI Yuechen^{2,3,4}, ZHANG Xiumei²

(1. Chongqing Geomatics Center, Chongqing 401121;

2. Research Institution of the Three Gorges Environment Remote Sensing; 3. Key Laboratory of GIS Application;

4. Chongqing Municipal Education Commission, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China)

Abstract: In this paper, Solar Analyst model was used to simulate sunshine in rugged terrains of Chongqing from 1960 to 2010. The DEM and sunshine percentage of meteorological stations was also used in this model. It proved that the method has high stability. Further, temporal and spatial analysis about change trend of sunshine duration was made. Research shows that: 1) Average annual daily sunshine was highest in the northeastern area with the middle and West of Chongqing on its heels. Sunshine was highest in the northeast and south of Chongqing in the spring and summer. In the fall and winter, there were higher sunshine in the northeast, the sunshine was lower in the southeast and Midwest of Chongqing. The more complex terrain combined with the effects of slope, aspect and shade, the difference of sunshine is larger. 2) Average annual daily sunshine of Chongqing showed a certain linear decreasing trend, and experienced a significant drop in early of the 1980s; in spring sunshine showed no obvious decreasing trend, but high inter-decadal difference. Summer sunshine showed a fluctuated decreasing trend. Autumn sunshine had no obvious change trend. Winter sunshine had the most stable decreasing trend than other seasons. 3) The trend of annual and seasonal daily sunshine of Chongqing showed regional differences. And it decreased the most obviously in the western area. Autumn sunshine had a relatively obvious increasing, and there was a same trend in the surrounding mountain areas in spring. In addition to spring, sunshine of southeast and west had similar decreasing.

Key words: Chongqing; spatial simulation; sunshine; the spatial-temporal characteristics; Solar Analyst mode

(责任编辑 陈 琴)