

doi: 10.6046/gtzyyg.2017.01.20
引用格式: 魏胜龙, 陈志彪, 陈志强, 等. 微地形上太阳辐射模拟及与地表温度关系研究[J]. 国土资源遥感, 2017, 29(1): 129 - 135. (Wei S L, Chen Z B, Chen Z Q, et al. Simulation of the total solar radiation over micro-landform and correlation between the solar radiation and the land surface temperature[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2017, 29(1): 129 - 135.)

微地形上太阳辐射模拟及与地表温度关系研究

魏胜龙^{1,2}, 陈志彪^{1,3}, 陈志强^{1,3}, 王秋云^{1,2}, 马秀丽^{1,2}, 鄢新余^{1,2}

(1. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007; 2. 湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, 福州 350007; 3. 福建师范大学地理研究所, 福州 350007)

摘要: 在微地形上进行太阳辐射模拟对于探讨起伏地表微气候因素分布具有重要意义, 为分析微地形对太阳辐射的影响及对地表温度的影响, 利用实时动态差分仪(real-time kinematic, RTK)实地测量实验样区的微地形, 生成分辨率为 0.1 m × 0.1 m 的分米级高精度数字高程模型(digital elevation model, DEM), 模拟微地形下太阳总辐射的时空分布; 同时结合地面温度实测数据, 建立地表温度与太阳辐射的关系。结果表明: 微地形下太阳辐射具有明显的空间分布特征, 表现为沟脊大, 沟底小; 阳坡大, 阴坡小; 坡度越大接受的太阳辐射量越少; 实验样区接受太阳辐射量大小依次为夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季; 地形遮蔽效应对太阳辐射影响程度依次为冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季; 地表温度与太阳辐射呈显著相关, 相关系数为 0.622。

关键词: 太阳辐射; 地表温度; 微地形; 微气候

中图分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2017)01-0129-07

0 引言

太阳辐射是地球上最主要的热量来源, 对气候形成及植被生长发育具有重要影响。起伏的地表支配着太阳辐射的重新分配, 与平地相比, 起伏地形下太阳辐射计算较为复杂, 也更有意义。关于复杂地形下太阳辐射的分布问题, 国内外学者做了大量卓有成效的研究^[1,2]。Dozier 率先提出了利用数字高程模型模拟太阳辐射的方法^[3]。傅抱璞^[4]、翁笃鸣^[5]、李占清^[6]、朱志辉^[7]等相继提出和改进了太阳辐射模型算法, 并将其引入山区太阳辐射的计算中。Ruiz-arias^[8]采用 20 m × 20 m 和 100 m × 100 m 分辨率数字高程模型(digital elevation model, DEM)数据进行山地潜在太阳辐射模拟实验, 结果表明 DEM 分辨率越高模拟效果越好。汤国安^[9]提出 DEM 地形描述误差随 DEM 分辨率的提高而减小, 理论上 DEM 分辨率越高, 太阳辐射模拟精度越高。杨昕^[10]基于 25 m × 25 m 的 DEM 对秦岭山区的太阳辐射进行研究, 并针对 DEM 尺度效应对太阳辐射模拟产生的影响进行了分析。然而迄今基于分米级

分辨率 DEM 上太阳辐射的模拟还未见报道。

在地表起伏的微地形上, 由于微地形因子的影响, 加上地表粗糙度、覆盖方式等的不同, 地表对太阳辐射的接受、能量的吸收、水热迁移转化过程有较大影响^[11-15]。相应地, 地表温度、湿度及近地面风速、风向等都有可能随微地形起伏发生改变, 形成微地形下“凸出”或“凹下”小气候, 进而对植物的生长发育、凋落物的储存分解、微生物种群活性、土壤动物群落繁衍、种子萌发等诸多细微过程产生重要影响^[16-17]。因此, 研究微地形下太阳辐射分布规律能直接反映影响植物生活的近地表热量特征, 对揭示微地形下微气候的形成具有重要意义。鉴于极高分辨率 DEM 的太阳辐射模拟未见报道, 本文以 3 300 个实测的三维坐标点生成分辨率为分米级(0.1 m × 0.1 m)的 DEM, 模拟微地形下太阳辐射量的分布, 并与实测的地表温度分布情况进行对比分析。

1 实验样区及实验数据

1.1 实验样区

朱溪小流域是南方红壤侵蚀区水土流失治理的

收稿日期: 2015-09-21; 修订日期: 2015-11-20
基金项目: 国家自然科学基金项目“南方红壤侵蚀区芒萁散布的地学分析及其时空模拟”(编号: 41171232)和“基于尺度理论的典型红壤侵蚀区生态恢复与重建机理研究”(编号: 40871141)共同资助。
第一作者: 魏胜龙(1990-), 男, 硕士研究生, 主要从事自然资源与环境及 GIS 应用研究。Email: shenglong423@163.com。
通信作者: 陈志彪(1962-), 男, 教授, 主要从事资源与环境、应用气象及水土保持等方面研究。Email: chenzhb408@vip.163.com。

典型单元,位于福建省长汀县河田镇东部。属于亚热带季风性湿润气候区,光热比较丰富,夏季盛行偏南风,冬季盛行偏北风,干湿两季分明,灾害性天气较多。该区域属于花岗岩丘陵区,风化壳深厚,结构松散,抗蚀性弱,历史上受人为因素影响,水土流失严重。本研究选取退化严重的典型侵蚀坡面为实验样区,试图研究本地草本植物在该恶劣环境下的生长、分布跟微地形、微气候、土壤等环境因素之间的关系,而微气候是研究的重要基础。

1.2 实验数据

1) DEM 数据。本研究于 2012 年 8 月利用实时动态差分仪获取微地形数据。实时动态差分仪是基于载波相位测量与数据传输相结合的定位技术,能够实时地获取测量点的三维坐标,达到分米级精度。测量过程中,起伏较大区域布点较密集,点与点距离约 20 cm,较平缓区域点与点间距离约 40 cm,共测 3 300 多个三维坐标点,利用 ArcGIS10.1 软件获取分辨率为 0.1 m × 0.1 m 的 DEM。实测地形面积 820 m²,高程范围为 345 ~ 363 m,坡度范围为 0 ~ 65°。

2) 地表温度数据。地表温度采用地面 0 cm 玻璃温度表,结合 RR-7125-8 土壤温湿度自动检测仪来测量。仪器分别埋置于侵蚀沟上部、中部、下部的沟脊和沟底位置。严格按照地面气象观测规范要求,观测时间为 2013 年 7 月中旬,15 d 左右,每日 8:00—18:00 之间观测,记录时间间隔为 2 h。

2 模拟方法

2.1 太阳辐射模拟

研究表明^[18-20],起伏地面下太阳总辐射可以表示为

$$S = S_d + S_s + S_r, \quad (1)$$

式中: S 为太阳总辐射; S_d 为太阳直接辐射; S_s 为

$$\gamma = 0.006\ 894 - 0.399\ 512\cos\theta + 0.072\ 075\sin\theta - 0.006\ 799\cos 2\theta + 0.000\ 89\sin 2\theta。 \quad (10)$$

对于起伏不平的地表,太阳入射角 I_n 可由坡度、坡向、纬度和时角等计算得到,即

$$\cos I = \sin\gamma(\sin\epsilon\cos\alpha - \cos\epsilon\sin\alpha\cos\beta) + \cos\gamma\cos\omega_i(\sin\epsilon\sin\alpha\cos\beta + \cos\epsilon\cos\alpha) + \sin\alpha\sin\beta\cos\gamma\sin\omega_i, \quad (11)$$

式中: α 为坡向角; β 为坡上角。地球修正因子计算公式为

$$E_0 = 1.000\ 109 + 0.033\ 494\cos\theta + 0.001\ 472\sin\theta + 0.000\ 768\cos 2\theta + 0.000\ 079\sin 2\theta, \quad (12)$$

式中 θ 为日角,按一定时角间隔,计算后积分即可得出日辐射量。日出日落时角计算公式为

$$\omega_s = \arccos(-\tan\gamma\tan\epsilon)\omega_r = -\omega_s, \quad (13)$$

式中: ω_s 为日落时角; ω_r 为日出时角,时角以正南方向为 0,顺时针为正,逆时针为负。

太阳散射辐射; S_r 为太阳反射辐射。

2.2 太阳直接辐射

地形起伏区域太阳辐射的计算比较复杂,坡度、坡向通过改变太阳入射角进而影响直接辐射量在不同部位的分布。在考虑地形遮蔽因子和大气衰减情况下,起伏地表的太阳直接辐射可以表示为^[20]

$$S_d = S_n\cos I_n G_i C_i, \quad (2)$$

其中,

$$S_n = S_0 Tr M_h, \quad (3)$$

$$M_h = M_0 K_i. \quad (4)$$

式中: I_n 为太阳光线和坡面法线的夹角; G_i 为地形遮蔽度因子; C_i 为云量系数,值取 1; S_n 为大气上界垂直入射的太阳辐射强度; S_0 为到达外层大气的太阳辐射量; Tr 为大气透射率,大气透射率主要取决于大气的水分含量,结合标准大气模式和我国典型地区大气模式,本文取值 0.6^[21]; M_h 为高度 h 处透明气团的相对路径长度; M_0 为海平面上透明气团的相对路径长度; K_i 为大气压修正系数。 S_0 , M_0 和 K_i 的计算公式分别为

$$S_0 = I_0[1 + 0.034\ 4\cos(360N/365)], \quad (5)$$

$$M_0 = \sqrt{1\ 229 + (614\sin H)^2} - 614\sin H, \quad (6)$$

$$K_i = [(288 - 0.006\ 5Map)/288]^{5.256}. \quad (7)$$

式中: I_0 为太阳辐射常数,取值 1 367 J·m⁻²·s⁻¹; N 为积日; Map 为数字高程模型; H 为太阳高度。其计算公式为

$$H = \arcsin(\sin\gamma\sin\epsilon + \cos\gamma\cos\epsilon\cos\omega_i), \quad (8)$$

式中: ϵ 为地理纬度; γ 为赤纬; ω_i 为太阳时角,描述太阳 24 小时的运行情况。即

$$\omega = 15(T - 12), \quad (9)$$

太阳赤纬计算公式为

度、坡向、纬度和时角等计算得到,即

2.3 太阳散射辐射

在晴朗无云的条件下,起伏不平的地表太阳散射辐射^[22-23]为

$$S_s = S_0(0.271 - 0.294Tr^{M_h})\cos^2(\alpha/2)\sin H. \quad (14)$$

2.4 太阳反射辐射

太阳反射辐射计算公式为

$$S_r = rS_0(0.271 + 0.706Tr^M)\sin^2(\alpha/2)\sin H, (15)$$

式中 r 为地表反射率。目前地表反射率主要采用高光谱遥感影像反射率反演得到,就是将传感器获得的辐射亮度 DN 值转换为反射率值,本研究取值为 0.2^[24]。

2.5 地形遮蔽因子计算

采用光线追踪算法计算地形遮蔽因子,搜索入射路径上所有的网格点,若某网格点高程与计算网格点高程之间的高度角大于该入射路径的高度角,则看作为一条可遮蔽路径,记 $Z_i = 0$,否则记 $Z_i = 1$ 。利用 ArcGIS10.1 软件提供的光照模拟工具,输入相应的太阳高度角和太阳方位角可得到每个栅格象元瞬时的遮蔽状况 Z_i ,分别计算不同时刻的 Z_i 值,根据每一微分时段开始时刻和结束时刻的遮蔽状况,按照公式 $G_i = (Z_{i-1} + Z_i)/2$ 计算每一微分时段段的遮蔽系数 G_i ,即若微分时段开始和结束均可照,则 $G_i = 1$,否则 $G_i = 0$,若两时刻遮蔽情况相反,则 $G_i = 0.5$ 。

2.6 太阳总辐射计算

山地太阳辐射分布状况在山地气候形成中起着主导和决定性的作用。太阳辐射量的分布具有很强的规律性,一般以沟脊为分界线,从沟脊向沟底呈连续变化的趋势。采用微积分法模拟微地形下太阳辐射量。将每日的可照时角离散为 36 段,模拟每一微分时段内的太阳辐射量,最后累加得到某一天的太

阳辐射量,以此类推,可求出各月、年的太阳辐射量。

3 结果与分析

3.1 年太阳辐射量空间分布

经过计算可知,实验样区年太阳辐射量范围为 2 441.40 ~ 7 690.07 MJ/m²,最大值约为最小值的 3 倍(图 1)。辐射量较大值主要分布于沟脊及平地部位,辐射量较小值主要分布于沟底等幽闭地形部位,说明实验样区微地形因子尤其地形遮蔽因子对太阳辐射量的空间分布影响较大。

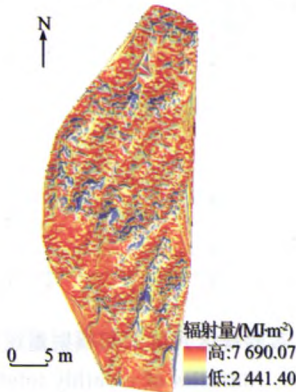


图 1 实验样区年太阳辐射量分布
Fig.1 Spatial distribution of annual total solar radiation in the test area

3.2 季节太阳辐射量空间分布

为了更好地对不同时期太阳辐射空间分布的比较,分别统计实验样区 4 个季节的太阳辐射量。如图 2 所示,以 3—5 月代表春季,6—8 月代表夏季,9—11 月代表秋季,12 月—次年 2 月为冬季。

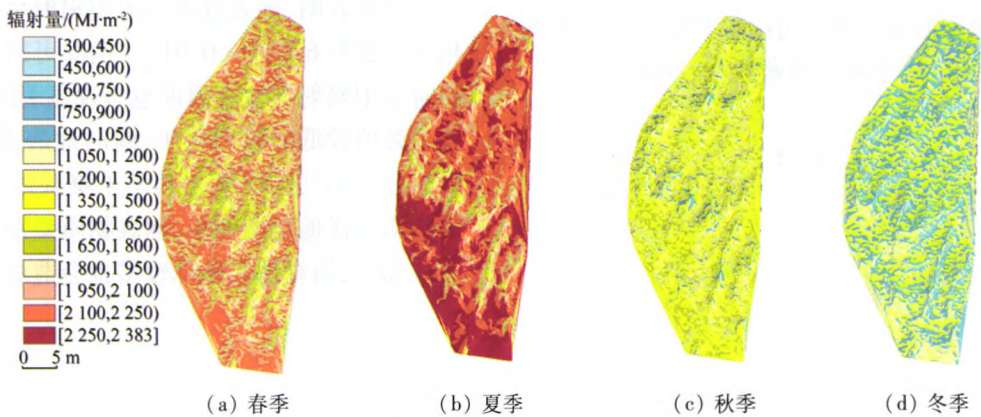


图 2 实验样区不同季节太阳辐射量分布
Fig.2 Spatial distribution of seasonal total solar radiation in the test area

从图中可以看出,太阳辐射具有明显的季节变化,四季太阳辐射量的大小依次为夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季;不同地形部位季节辐量差异亦明显;夏季太阳辐射量分布标准差最小(176.66 MJ/m²)。分析认为,这主要是由于夏季太阳高度角较大,微地形对太阳辐射的影响相对较小;冬季则相反,标准差

最大(280.37 MJ/m²),说明由于冬季太阳高度角较小,地形遮蔽效应强,所以太阳辐射量空间分布差异较大;春(196.18 MJ/m²)、秋(264.93 MJ/m²)季的太阳平均辐射量介于夏、冬季之间。

3.3 月太阳辐射量空间分布

实验样区 1—12 月太阳辐射数据统计(图 3)表

明,6 月和 7 月太阳辐射量最大,达 815 ~ 820 MJ/m²,太阳辐射量最大值的低点在 12 月,为 528 MJ/m² 左右;各月份太阳辐射量的最小值也有相同的变化趋势,未出现零值区;6 月份月辐射平均值最高,为 737 MJ/m²,12 月份最低,为 337 MJ/m²;月太阳辐射量最大值、最小值和平均值的走势相同,从 3 者的相对大小可以看出,各月太阳辐射的分布向最大值集中,尤其 5—7 月这 3 个月,大部分在最大值附近,各月份太阳辐射量标准差反映地形遮蔽效应对太阳辐射量的影响受太阳高度角大小的制约。

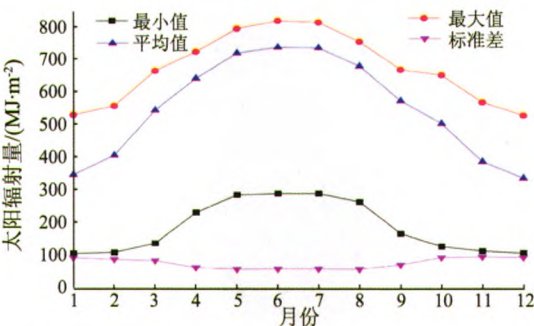


图 3 实验样区月度太阳辐射量统计特征
Fig.3 Statistics of monthly total solar radiation in the test area

3.4 不同坡向太阳辐射量分布

实验样区不同坡向条件下太阳辐射量变化情况如图 4 所示,由于实验样区坡面整体朝南,加上样区范围较小,阴坡面积非常小,因此未计入统计。就总量而言,不同坡向太阳辐射量分布呈现:半阴坡 < 半阳坡 < 阳坡,各坡向接受的辐射量相差并不大。从图中亦可以看出,冬季时各坡向辐射量差异较大,夏季时各坡向辐射量差异较小,这主要是由冬季地形遮蔽效应较强,夏季地形遮蔽效应较弱所致。

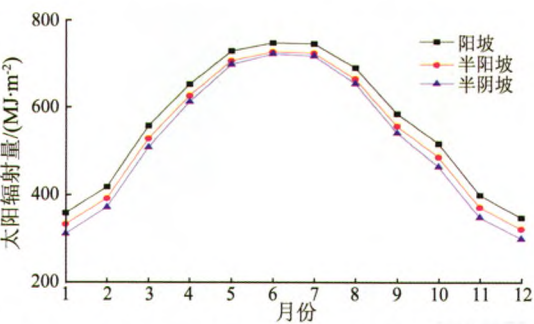


图 4 实验样区不同坡向太阳辐射量月变化图
Fig.4 Monthly change of total solar radiation in different slope

3.5 不同坡度太阳辐射量分布

实验区年太阳辐射总量随坡度的增大而减小,如图 5 所示。坡度在 0° ~ 5°时,不同坡向的太阳辐射总量基本不变;坡度在 5° ~ 30°之间时,太阳辐射总量随坡度的增大而缓慢减少;在坡度大于 30°时,

太阳辐射总量随坡度增大而减小的趋势明显增强。与坡向相比,坡度对太阳辐射量的分布有巨大影响。分析认为,这与所选区域有关,本文实验样区为坡面整体朝南的区域,因此坡度的影响要大于坡向的影响,研究结果与杨昕^[25]等的有区别,不能同等比较。

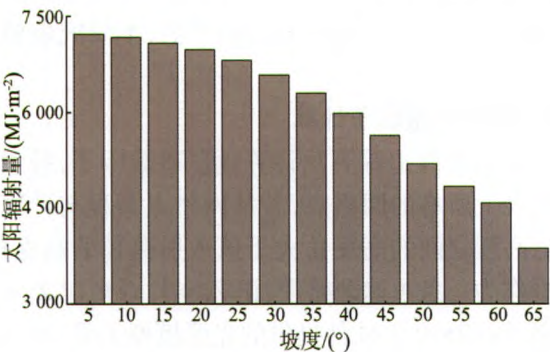


图 5 实验样区年太阳辐射量随坡度的变化图
Fig.5 Total solar radiation change with slope

3.6 地表温度与太阳辐射量的关系

为提高分析精度,处理数据过程中,只选取晴天时,且观测时刻无任何遮蔽的地面温度参与关系的探讨分析,7 月份统计数共 198 个。

表 1 地表温度与太阳辐射量相关关系表
Tab.1 Correlation analysis between land surface temperature and solar radiation

时间	相关参数	相关系数
7 月份	Pearson Correlation	0.622 ** ^①
	Sig. (2 - tailed)	0.000
	N	198

①: ** 表示在 0.01 水平上达到显著

结果表明,地表温度与太阳辐射呈极显著相关,相关系数 0.622 ($P < 0.01$)。由此可以看出,即便是瞬时太阳辐射与地表温度也呈现显著的相关性。相关系数值较低的原因在于,瞬时地表温度受地表物质组成及小气候环境尤其是土壤湿度的影响较大。虽然实验样地范围较小,地表物质差别不大,但相对其他部位,沟脊地表砂砾较多也会造成一定影响。

4 讨论

模拟太阳辐射分布时,DEM 分辨率对其有重要影响。一般低分辨率 DEM 对地形有一定平滑作用,对起伏地形表达较差,降低了地形在太阳入射辐射估算中的作用。Ruiz - Arias^[8]等在山区分析了 DEM 分辨率对太阳辐射模拟精度的影响,认为高分辨率的 DEM 能够提高复杂地形下太阳辐射模拟精度。本文采用的 0.1 m × 0.1 m 分辨率的 DEM 能够较好地反映地形对太阳辐射的影响,尤其是地形遮

蔽因子对太阳辐射的影响。此前的大部分研究,对地形遮蔽因子的影响要么由于研究尺度大、精度低而忽略,要么只考虑某点地形对太阳起始时角和终止时角的影响。本文利用高精度 DEM,考虑坡度、坡向以及地形遮蔽对太阳辐射分布的影响,实现真正意义上的山区微地形太阳辐射模拟。

在进行地表太阳辐射模拟过程中,地表某一点日照时间的长短直接决定了该点接受太阳辐射量的多少,所以日照时间是影响太阳辐射计算的重要参数。地理日照时间考虑地形遮蔽的影响而不考虑大气的影响,已经被广泛应用于地表太阳辐射的模拟研究。在此基础上,本文充分考虑了地球曲率对地面日照时间的影响,提高了模拟精度的计算。海拔、坡度、坡向等地形因子的不同均会造成地形遮蔽效应的不同,必然影响地表太阳辐射量的差异。文中夏季各坡向太阳辐射差异小、冬季各坡向太阳辐射差异较大,是因为冬季太阳高度角小地形遮蔽效应强烈造成的;同一时间太阳辐射阳坡大于半阳坡,又大于半阴坡,是坡向引起的;随着坡度的增大地表太阳辐射呈下降趋势,则是由于坡度引起的。

本文的研究区为南方红壤侵蚀区,土壤侵蚀在均匀坡面上形成细沟、浅沟、切沟等不同规模的侵蚀沟,以及其他大小不等、形状各异的微地形。对于地表起伏波动的裸地,随着太阳入射角的不同,沟脊、沟壁、沟底所接受的光热资源也不相同。地表温度存在季节性和昼夜性的大幅变化,在微地形尺度上,地表温度除了受地面结构的影响,地表粗糙度、土壤水分、近地面温湿度的不同也会影响对热辐射的吸收。本文研究发现,微地形上太阳辐射量的分布主要表现为沟脊大于沟底。高志强等^[26]的研究发现,陆地表面过程模式模拟的地表温度同实测地表温度在大的格局上吻合度非常好,但是因地貌类型及地表覆盖的影响,在微地形上模拟温度精度不够高,而且需要众多参数输入。反演地表温度方法适合有植被覆盖的地表温度的计算,在裸露区域反演的地表温度误差较大。因此,本文选择实测的地表温度,分析微地形下模拟太阳辐射量与实际地表温度的关系。结果显示,微地形上太阳辐射与地表温度显著相关。

陈慧^[27]、文明章^[28]等基于福建省 100 m × 100 m 分辨率的数字高程模型模拟的福建省长汀县年太阳辐射量在 4 000 ~ 5 000 MJ/m², 相比而言,本研究所选实验样区的太阳辐射量模拟值具有更高的精度

(2 441.4 ~ 7 690.07 MJ/m²)。太阳辐射是地球表层生物、地球、化学循环的主要能源,它的多寡直接决定着生态系统物质、能量和信息的流动^[29]。微地形上太阳辐射的巨大差异会引起地表水热条件的差异,进而形成许多不同的地表微生境,影响植被的分布及生长发育。因此,有学者认为微地形创造出的地表微生境和局地小气候会对生物群落的结构和功能产生重大影响^[30-31]。可见,在生态脆弱区(比如因水土流失造成地表裸露地区)进行太阳辐射模拟及相关分析,有助于该地区植被的恢复以及退化生态系统重建的研究。因此,下一步可以通过研究微地形上太阳辐射和温度的差异与植物生长条件之间的关系,为最佳恢复植物物种的选择提供决策参考。

5 结论

1) 在充分考虑地形遮蔽因子影响后,模拟碧空条件下侵蚀微地形上太阳辐射量的分布。分布主要表现为:沟脊多,沟底少;阳坡多,阴坡少;随坡度的增大辐射量逐渐减小。相比而言,高精度 DEM 模拟的地表太阳辐射具有更高的精度。

2) 地形因子对太阳辐射量的影响随太阳高度角大小而变化,太阳高度角越大地形因子的影响越弱。就实验样区而言,地形遮蔽效应对太阳辐射量的影响程度依次为冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季。

3) 地表温度除了受太阳辐射的影响,还与地表粗糙度、土壤水分及近地面温湿度等因子有关,本研究显示地表温度与太阳辐射量显著相关,相关系数为 0.622,说明太阳辐射是影响地表温度的主要因素。

参考文献 (References):

- [1] Dozier J, Outcalt S I. An approach toward energy balance simulation over rugged terrain[J]. *Geographical Analysis*, 1979, 11(1): 65-85.
- [2] 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, 44(9): 993-998.
Li X, Cheng G D, Chen X Z, et al. Modification of solar radiation model over rugged terrain[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(15): 1345-1349.
- [3] Dozier J, Frew J. Rapid calculation of terrain parameters for radiation modeling from digital elevation data[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1990, 28(5): 963-969.
- [4] 傅抱璞. 论坡地上的太阳辐射总量[J]. *南京大学学报: 自然科*

- 学版,1958(2):47-82.
- Fu B P. The solar radiation falling on slope[J]. Journal of Nanjing University: Natural Science Edition, 1958(2):47-82.
- [5] 翁笃鸣. 中国辐射气候[M]. 北京: 气象出版社, 1997:250-279.
- Weng D M. China Radiation Climate[M]. Beijing: Meteorology Publishing House, 1997:250-279.
- [6] 李占清, 翁笃鸣. 丘陵山地总辐射的计算模式[J]. 气象学报, 1988, 46(4):461-468.
- Li Z Q, Weng D M. A numerical approach toward global radiation over rugged areas[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1988, 46(4):461-468.
- [7] 朱志辉. 墙面太阳辐照的理论计算与模式估计——以上海为例[J]. 地理学报, 1987, 42(1):28-41.
- Zhu Z H. Theoretical computation and model estimation of solar irradiation incident on vertical wall surfaces: With an example of Shanghai[J]. Acta Geographica Sinica, 1987, 42(1):28-41.
- [8] Ruiz-Arias J A, Tovar-Pescador J, Pozo-Vázquez D, et al. A comparative analysis of DEM-based models to estimate the solar radiation in mountainous terrain[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2009, 23(8):1049-1076.
- [9] 汤国安, 龚健雅, 陈正江, 等. 数字高程模型地形描述精度量化模拟研究[J]. 测绘学报, 2001, 30(4):361-365.
- Tang G A, Gong J Y, Chen Z J, et al. A Simulation on the accuracy of DEM terrain representation[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2001, 30(4):361-365.
- [10] 杨昕, 汤国安, 王雷. 基于 DEM 的山地总辐射模型及实现[J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20(5):41-44.
- Yang X, Tang G A, Wang L. Modeling of global radiation over rugged areas based on DEM[J]. Geography and Geo-Information Science, 2004, 20(5):41-44.
- [11] Bergkamp G. A hierarchical view of the interactions of runoff and infiltration with vegetation and microtopography in semiarid shrublands[J]. Catena, 1998, 33(3/4):201-220.
- [12] Diefenderfer H L, Coleman A M, Borde A B, et al. Hydraulic geometry and microtopography of tidal freshwater forested wetlands and implications for restoration, Columbia River, USA[J]. Ecohydrology & Hydrobiology, 2008, 8(2/4):339-361.
- [13] Wolf K L, Ahn C, Noe G B. Microtopography enhances nitrogen cycling and removal in created mitigation wetlands[J]. Ecological Engineering, 2011, 37(9):1398-1406.
- [14] Hammad A H A, Børresen T, Haugen L E. Effects of rain characteristics and terracing on runoff and erosion under the Mediterranean[J]. Soil and Tillage Research, 2006, 87(1):39-47.
- [15] Antoine M, Javaux M, Bièdiers C. What indicators can capture runoff-relevant connectivity properties of the micro-topography at the plot scale? [J]. Advances in Water Resources, 2009, 32(8):1297-1310.
- [16] Loos M, Elsenbeer H. Topographic controls on overland flow generation in a forest—an ensemble tree approach[J]. Journal of Hydrology, 2011, 409(1/2):94-103.
- [17] Hörnberg G, Ohlson M, Zackrisson O. Influence of bryophytes and microrelief conditions on Picea abies seed regeneration patterns in boreal old-growth swamp forests[J]. Canadian Journal of Forest Research, 1997, 27(7):1015-1023.
- [18] He H L, Yu G R, Niu D. Method of global solar radiation calculation on complex territories[J]. Resources Science, 2003, 25(1):78-85.
- [19] Kumar L, Skidmore A K, Knowles E. Modelling topographic variation in solar radiation in a GIS environment[J]. International Journal of Geographical Information Science, 1997, 11(5):475-497.
- [20] Gates D M. Biophysical Ecology[M]. New York, NY: Courier Dover Publications, 2003:85-86.
- [21] 覃志豪, Li W J, Zhang M H, 等. 单窗算法的大气参数估计方法[J]. 国土资源遥感, 2003(2):37-43. doi:10.6046/gtzyyg.2003.02.10.
- Qin Z H, Li W J, Zhang M H, et al. Estimating of the essential atmospheric parameters of mono-window algorithm for land surface temperature retrieval from landsat TM6[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2003(2):37-43. doi:10.6046/gtzyyg.2003.02.10.
- [22] Van Dam O. Forest Filled with Gaps: Effects of Gap Size on Water and Nutrient Cycling in Tropical Rain Forest; A Study in Guyana[D]. Utrecht: Utrecht University, 2001:69-72.
- [23] Gates D M. Biophysical Ecology[M]. New York: Springer-Verlag, 1980:96-146.
- [24] 《大气科学辞典》编委会. 大气科学辞典[M]. 北京: 气象出版社, 1994:117.
- Editorial Committee of Dictionary of Atmospheric Science. Dictionary of Atmospheric Science[M]. Beijing: China Meteorological Press. 1994:117.
- [25] 杨昕, 汤国安, 肖晨超. 太阳辐射模拟的 DEM 尺度影响因素分析[J]. 地球信息科学, 2007, 9(2):14-19.
- Yang X, Tang G A, Xiao C C. Effect of DEM resolution on simulation of solar radiation[J]. Geo-information Science, 2007, 9(2):14-19.
- [26] 高志强, 刘纪远. 基于陆面模式和遥感技术的地表温度比较[J]. 地理学报, 2003, 58(4):494-502.
- Gao Z Q, Liu J Y. The comparison of land surface temperature with CLM and split window retrieving method[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(4):494-502.
- [27] 陈惠, 林晶, 李丽纯, 等. 福建省太阳总辐射计算方法及时空分布[J]. 中国农学通报, 2009, 25(22):291-295.
- Chen H, Lin J, Li L C, et al. Calculation of total solar radiation and its distribution characteristics in Fujian Province[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(22):291-295.
- [28] 文明章, 张容焱, 高建芸, 等. 基于地形的福建省太阳辐射模拟计算及评估[J]. 亚热带资源与环境学报, 2013, 8(3):65-71.
- Wen M Z, Zhang R Y, Gao J Y, et al. Solar radiation in Fujian Province: Calculation and assessment based on DEM[J]. Journal of Subtropical Resources and Environment, 2013, 8(3):65-71.
- [29] Liou K N. An Introduction to Atmospheric Radiation[M]. 2nd ed. Pittsburgh: Academic Press, 2002:68-71.
- [30] Vivian-Smith G. Microtopographic heterogeneity and floristic diversity in experimental wetland communities[J]. Journal of Ecology, 1997, 85(1):71-82.
- [31] El-Bana M I, Nijs I, Kockelbergh F. Microenvironmental and vegetational heterogeneity induced by phytogenic nekhas in an arid coastal ecosystem[J]. Plant and Soil, 2002, 247(2):283-293.

Simulation of the total solar radiation over micro – landform and correlation between the solar radiation and the land surface temperature

WEI Shenglong^{1,2}, CHEN Zhibiao^{1,3}, CHEN Zhiqiang^{1,3}, WANG Qiuyun^{1,2}, MA Xiuli^{1,2}, YAN Xinyu^{1,2}

(1. College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China; 2. Key Laboratory for Subtropical Mountain Ecology, Ministry of Science and Technology and Fujian Province Funded, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China; 3. Institute of geography, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: Solar radiation is the most important energy source in the Earth. The Yangxin’s research shows that the effect of DEM scale causes great uncertainty to the simulation of solar radiation, and the impacts of DEM resolution on the simulation of the solar radiation are much greater in hilly area than in the mountainous area. To estimate the solar radiation model (SRAD), the authors measured the micro terrains with the help of real – time kinematic (RTK) and achieved the 0.1 m × 0.1 m high – resolution DEM by TGO and ArcGIS10.0 software. Then the authors analyzed the correlation between the solar radiation and the land surface temperature. It is found that the solar radiation is differently distributed on the micro – landform. Groove ridge, sunny and gentle slopes accept more solar radiation than groove bottom, shady and steep slopes. The radiation is in descending order of summer(2 149.96 MJ/m²), spring(1 903.97 MJ/m²), autumn(1 461.86 MJ/m²) and winter(1 093.11 MJ/m²), and solar radiation is reduced gradually with the increase of the grade of slope. The results show that the land surface temperature is significantly correlated to solar radiation (0.622).

Keywords: solar radiation; land surface temperature; micro – landform; microclimate

(责任编辑: 李 瑜)