

玉溪山地气温空间分布的 DEM 分辨率影响及应用

谢新乔¹, 陆俊平¹, 李湘伟¹, 杨继周¹, 王剑松¹, 胡保文¹, 景元书², 李媛媛², 王丹丹²

(1. 红塔烟草有限责任公司原料部, 云南玉溪 653100; 2. 江苏省农业气象重点实验室/南京信息工程大学, 江苏南京 210044)

摘要 基于玉溪地区 23 个站点 2010—2019 年的常规气象观测资料, 采用 4 种不同空间分辨率的 DEM 数据与反距离权重插值方法, 构建起伏地形下的有效气温模型, 实现热量资源的小网格地域分布。结果表明, 气温的空间分布与海拔、相对湿度呈负相关, 与长波有效辐射呈正相关。随着 DEM 空间分辨率的减小, 月平均气温空间差异性降低, 12.5 m×12.5 m、30 m×30 m、90 m×90 m 分辨率的月平均气温分布空间差异性不明显。玉溪地区气温空间分布均呈现出西南部高、东北部偏低且东西部温差较大的特征。

关键词 气温; 空间分布; DEM 分辨率; 热量资源; 玉溪地区

中图分类号 S162 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)11-0182-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2023.11.044

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effect of DEM Resolution on the Spatial Distribution of Temperature in the Yuxi Hilly Area and Its Application

XIE Xin-qiao, LU Jun-ping, LI Xiang-wei et al (Department of Raw Materials, Hongta Tobacco Co., Ltd., Yuxi, Yunnan 653100)

Abstract Based on conventional meteorological observation data from 23 stations in the Yuxi area from 2010 to 2019, four different spatial resolution DEM data and inverse distance weight interpolation methods were used to construct an effective temperature model under undulating terrain, achieving a small grid regional distribution of heat resources. The result showed that the spatial distribution of temperature was negatively correlated with altitude and relative humidity, and positively correlated with longwave effective radiation. As the spatial resolution of DEM decreased, the spatial variability of monthly average temperature decreased. The spatial difference of monthly average temperature distribution with a resolution of 12.5 m × 12.5 m, 30 m × 30 m, 90 m × 90 m was not significant. The spatial distribution of temperature in the Yuxi region showed a characteristic of high temperature in the southwest and low temperature in the northeast, with a large temperature difference between the east and west.

Key words Temperature; Spatial distribution; DEM resolution; Heat resources; Yuxi area

气温是反映一个地区热量资源的主要指标,也是农作物生长发育的重要影响因素之一,对人类进行农业资源开发及农作物适宜性评价及区划具有重要指导意义^[1-3]。玉溪市位于云南省中部,处于 23°19'~24°53'N、101°16'~103°09'E,属于低纬度高原区,地貌交错,总体呈西北高东南低的特征。玉溪市属于亚热带季风气候,因复杂的地形及受印度洋、北部湾温湿与干燥气流综合影响,具有冬春干、夏秋湿的特点,且又受朝向影响而具有多样性的气候变化特征,总体较为温和湿润。因此玉溪市是云南省具有较大潜力的烟草种植发展区。

影响玉溪地区平均气温空间分布特征与变化的因素有很多,主要包括测定点位置、地形地貌条件、下垫面属性和状况、人类生产活动、天气状况等。其中,地形条件与海拔是最直接的影响因子。由于前人在研究地形条件对平均气温空间精细化特征分布的影响时主要考虑到了坡度、坡向等因子的影响,用坡度、坡向及其他因子与月平均气温建立了多元线性回归方程^[4-5]。在提取坡度、坡向因子时,多采用某一数值分辨率的 DEM 数据,而未考虑到不同 DEM 分辨率对因子提取的影响^[6-7]。气温的空间分布也与太阳辐射有着密不可分的关系,而在构建起伏地形下的气温空间分布模型时较少考虑到太阳辐射的影响。影响平均气温空间分布变化的主要因素是海拔、太阳辐射和地面有效辐射,在此基础上提出了有效气温空间分布模型,并将其拓展出起伏地形下有效气

温空间分布模型^[8];在云南山区气温空间分布的相关研究中,李文华等^[9-10]研究发现用综合比较法、函数模拟法、空间插值法 3 种方法来推算山区气温的空间分布比较合理。所以必须考虑海拔、太阳总辐射、长波有效辐射对区域气温形成的影响,构建起伏地形下的有效气温模型。笔者在玉溪市常规气象观测资料的基础上,结合 ArcGIS 分析平台,借助 DEM 地形数据,从中提取 12.5 m×12.5 m、30 m×30 m、90 m×90 m、1 000 m×1 000 m 分辨率下经度、纬度、坡度和坡向,实现玉溪地区起伏地形下气温空间的精细化分布研究;以小网格为计算单元,将气象站点的点位数据拓展到整个玉溪农业与烟草种植区,使空间分辨率与 DEM 数据保持一致,构建起伏地形下有效气温模型,分析烟草生长期热量资源的小网格地域分布,为烟草气候生态适宜性区划提供参考依据^[11-13]。

1 资料与方法

1.1 气象数据 气象资料来源于玉溪市气象局 2010—2019 年共 23 个站点的月报表常规气象资料,包括玉溪地区各站点逐日的平均气温、日照时数、相对湿度等资料,且已知各个站点的经度、纬度、海拔。

1.2 地形数据 DEM 地形数据共采取 12.5 m×12.5 m、30 m×30 m、90 m×90 m、1 000 m×1 000 m 4 种不同分辨率,其中,12.5 m×12.5 m 高程数据来源于 ALOS 12.5 m DEM 数据,30 m×30 m 高程数据来源于地理空间数据云 ASTER GDEM 30 m 分辨率数字高程数据,90 m×90 m 高程数据来源于地理空间数据云 SRTMDEMUTM 90 m 分辨率数字高程数据,1 000 m×1 000 m 高程数据来源于美国地质调查局(united states geological survey, USGS) 30' 地形数据。将 12.5 m×

基金项目 红塔烟草有限责任公司技术项目(S-6019001)。

作者简介 谢新乔(1988—),男,云南曲靖人,农艺师,硕士,从事烟叶基地建设与烟叶质量评价研究。

收稿日期 2022-06-13

12.5 m 的网格作为该研究推算起伏地形下平均气温的最小分析单元。

1.3 数据处理 第一步,根据玉溪地区 23 个站点的月报表常规气象资料,计算日照百分率。

由公式(1)计算太阳日角 θ (以弧度为单位):

$$\theta = 2\pi(d_n - 1)/365.2422 \quad (1)$$

式(1)中, d_n 表示日序(1月1日记为1,1月2日记为2,不间断以此类推)。

再由公式(2)计算出逐日的太阳赤纬 δ :

$$\delta = 0.66894 - 0.399512 \times \cos\theta + 0.072075 \times \sin\theta - 0.006799 \times \cos 2\theta + 0.000896 \times \sin 2\theta - 0.002689 \times \cos 3\theta + 0.001516 \times \sin 3\theta \quad (2)$$

然后由公式(3)及纬度 φ 计算出 2010—2019 年任意一年中任意一天的日出(日落)时角 ω :

$$\omega = \arccos(-1 \times \tan\varphi \times \tan\delta) \quad (3)$$

再利用公式(4)计算 2010—2019 年玉溪地区 9 个站点的理论日照时数 ζ :

$$\zeta = 2\omega \times 180/15\pi \quad (4)$$

最后由公式(5)计算出 2010—2019 年玉溪地区 9 个站点的日照百分率 s :

$$s = \frac{\lambda}{\zeta} \times 100\% \quad (5)$$

式(5)中, λ 表示各站点实际测得的日照时数。

第二步,计算多年月平均气温、相对湿度、日照百分率。根据各站点逐日的平均气温、相对湿度、日照百分率,计算月平均气温、相对湿度、日照百分率,最后累加求得多年月平均气温、相对湿度、日照百分率。

第三步,将各站点的海拔、多年月平均气温、相对湿度、日照百分率、太阳总辐射进行回归拟合,得到玉溪地区多年 1—12 月平均气温的回归方程,12 个拟合的方程 R^2 均接近于 1.0,说明拟合的方程较为符合,且误差较小。

第四步,根据 4 种不同分辨率的玉溪地区 DEM 地形数据,结合 ArcGIS 10.2 分析平台,提取玉溪地区的坡度、坡向、海拔,将各站点 1—12 月多年月平均相对湿度、日照百分率、太阳总辐射数据导入 ArcGIS 10.2 分析平台,采用反距离权重(IDW)插值法,将各站点的点位数据外推至玉溪市全市范围的面数据。结合其余相关因子对烟草种植的影响,对玉溪市烟草种植气候适宜性进行综合评价,为玉溪市烟草种植提供参考意见。

1.4 研究方法 影响气温空间分布的因素较多,一般而言,海拔越高,气温越低,而对于山地环境,气温的垂直递减率并不完全一致;太阳辐射是地球大气运动的主要能量来源,对气温的空间分布主要体现在日照时数方面;长波有效辐射是指地面被加温后向大气传输的辐射以及被大气反射回地面的这部分辐射,是影响近地面气温空间分布的主要因素之一。因此,在构建有效气温空间分布模型时,必须考虑到海拔、太阳总辐射、长波有效辐射对区域气温形成的物理意义。该研究采用复杂地形下平均气温的模拟模型:

$$T = a + b \times H + c \times Q + d \times (1 - s) \times (1 + w \times h)$$

式中, H 为海拔(m); Q 为太阳总辐射(MJ/m^2); s 为日照百分率(%); h 为相对湿度(%); a 为回归常数项; b 为气温随海拔的递减率; c 为气温随太阳总辐射的递增率; d 为气温随长波有效辐射的变化系数; w 为气温随相对湿度变化的经验系数^[10-11]。

2 结果与分析

2.1 玉溪地区起伏地形下平均气温模型 将各站点的海拔、多年月平均气温、相对湿度、日照百分率、太阳总辐射进行非线性回归拟合,得到玉溪地区多年 1—12 月平均气温的共 12 组回归方程模型。各方程经验系数如表 1 所示。12 个拟合方程的 R^2 均接近于 1.0,说明拟合方程较为符合,且误差较小。

表 1 多年月平均气温模拟系数

Table 1 Simulation coefficient of multi-year monthly average temperature

| 月份 Month | R^2 | a | b | c | d | w |
|-------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 0.987 | 15.280 | -0.004 | 0.008 | 27.238 | -1.623 |
| 2 | 0.987 | 18.682 | -0.004 | 0.008 | 37.289 | -2.070 |
| 3 | 0.992 | 22.401 | -0.005 | 0.007 | 24.511 | -2.343 |
| 4 | 0.991 | 28.621 | -0.005 | 0.003 | 26.330 | -2.189 |
| 5 | 0.998 | 36.852 | -0.005 | -0.009 | 19.299 | -1.966 |
| 6 | 0.998 | 31.884 | -0.005 | -0.003 | 17.238 | -1.379 |
| 7 | 0.998 | 31.482 | -0.005 | -0.004 | 14.468 | -1.253 |
| 8 | 0.997 | 31.084 | -0.005 | -0.004 | 17.101 | -1.267 |
| 9 | 0.998 | 24.677 | -0.005 | 0.011 | 18.258 | -1.383 |
| 10 | 1.000 | 20.332 | -0.005 | 0.018 | 22.011 | -1.410 |
| 11 | 0.994 | 18.350 | -0.004 | 0.010 | 23.868 | -1.430 |
| 12 | 0.997 | 12.779 | -0.004 | 0.013 | 15.223 | -1.450 |

分析玉溪多年月平均气温模拟系数可知,1—2 月份 R^2 小于其余月份的 R^2 ,说明冬季的气温模拟效果差于春季、夏

季、秋季。从系数的正负可以看出,气温的空间分布与海拔、相对湿度呈负相关($b < 0, w < 0$),与长波有效辐射呈正相关

($d>0$)。

2.2 玉溪地区不同 DEM 分辨率对气温空间分布的影响 采用反距离权重 (IDW) 插值法, 将各站点的点位数据外推至玉溪地区的面数据, 再将拟合所得的玉溪地区多年 1—12 月平均气温的回归方程导入 ArcGIS 10.2 分析平台, 最终得到玉溪地区起伏地形下 1—12 月的平均气温空间分布图。

此处选取玉溪地区 4 月份平均气温分布图, 分析不同 DEM 分辨率对气温空间分布的影响 (图 1)。根据玉溪地区多年月平均气温数据, 西南部地区 (元江县、新平县) 气温较高, 且与坡向走势一致。总体而言, 玉溪地区气温空间分布均呈现出西南部高、东北部偏低且东西部温差较大的特征, 各月基本一致。

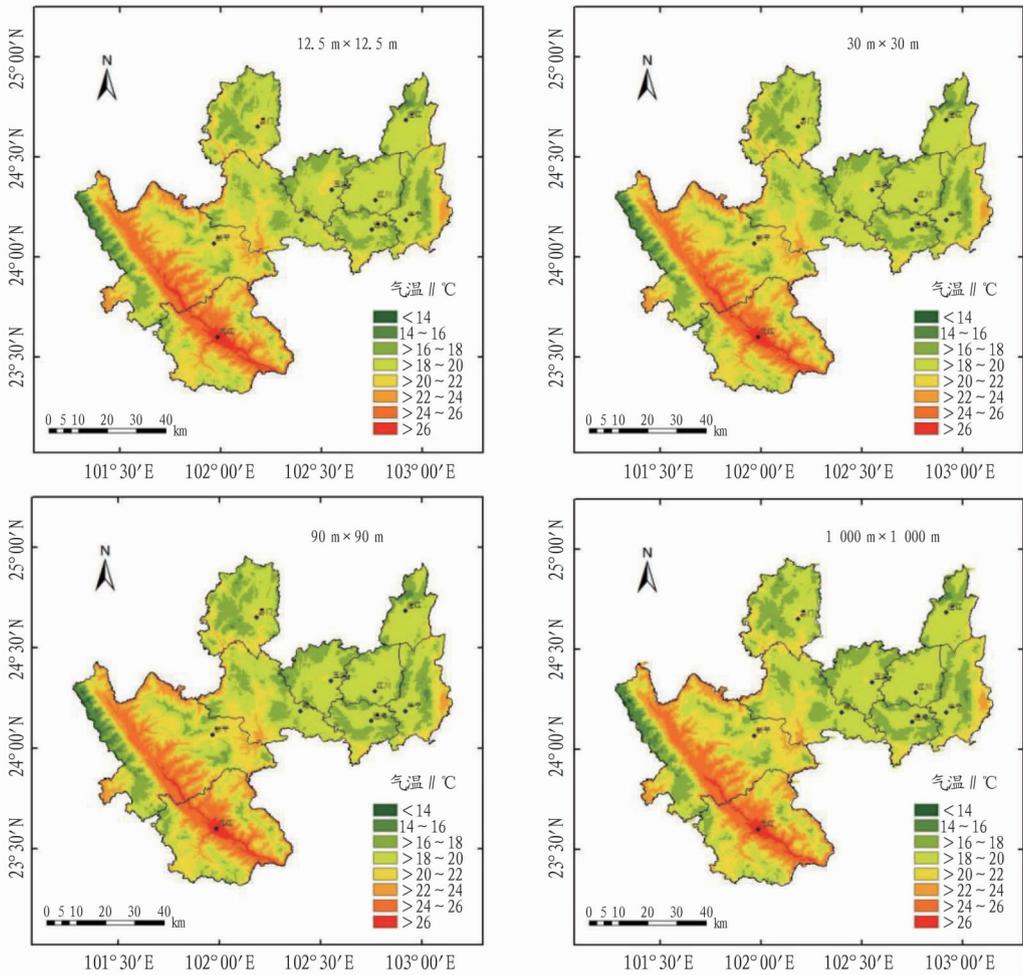


图 1 玉溪地区 4 月份平均气温不同 DEM 分辨率比较

Fig. 1 Comparison of different DEM resolutions of average temperature in April in Yuxi area

不同分辨率的 DEM 数据栅格总数不同, 12.5 m×12.5 m 分辨率 DEM 数据栅格总数为 16 416×15 663 个, 30 m×30 m 分辨率 DEM 数据栅格总数为 6 474×6 177 个, 90 m×90 m 分辨率 DEM 数据栅格总数为 2 153×2 054 个, 1 000 m×1 000 m

分辨率 DEM 数据栅格总数为 215×205 个。分析玉溪地区平均气温的空间分布随 DEM 空间分辨率的变化, 以 12.5 m×12.5 m 分辨率的气温空间分布为基准, 统计其他 3 种不同 DEM 分辨率气温模拟的误差, 见表 2。

表 2 不同 DEM 分辨率的月气温统计

Table 2 Monthly temperature statistics with different DEM resolutions

| 空间分辨率 Spatial resolution m×m | 最高温度 Maximum temperature/°C | 最低温度 Minimum temperature/°C | 平均温度 Average temperature/°C | 绝对误差 Absolute error/°C | 相对误差 Relative error/% | 标准差 SD °C |
|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------|
| 12.5×12.5 | 27.42 | 12.66 | 20.03 | 0.01 | 0.02 | 2.39 |
| 30×30 | 27.56 | 12.53 | 19.94 | 0.09 | 0.45 | 2.39 |
| 90×90 | 27.18 | 12.52 | 19.90 | 0.13 | 0.65 | 2.39 |
| 1 000×1 000 | 27.10 | 13.32 | 19.89 | 0.14 | 0.70 | 2.36 |

从表 2 和图 1 可以看出, 随着 DEM 空间分辨率的减小, 月平均气温的绝对误差和相对误差逐渐增加, 最大绝对误差

为 0.14 °C, 最大相对误差为 0.70%; 其次, 月平均气温的空间差异性降低, 其中, 12.5 m×12.5 m、30 m×30 m、90 m×90 m

分辨率的月平均气温分布空间差异性不明显,1 000 m×1 000 m 的月平均气温分布空间差异性较为显著。

2.3 玉溪地区烟草种植气候适宜性区划 在玉溪地区 23 个站点 2010—2019 年常规气象观测资料的基础上,结合 ArcGIS 10.2 分析平台,考虑海拔、5—9 月平均气温、年日照

时数、3—9 月日照时数、5—9 月平均相对湿度和坡度对烟草种植的影响,确定玉溪地区烟草种植气候适宜性区划指标如表 3 所示。综合考虑 6 个分辨率均为 12.5 m×12.5 m 的指标,不适宜、次适宜、适宜、最适宜 4 个等级指标值逐级包含,最终以 6 个评判结果中的不适宜等级作为综合评判结果。

表 3 玉溪地区烟草种植气候适宜性区划指标

Table 3 Climatic suitability zoning index of tobacco planting in Yuxi region

| 适宜等级 Suitable grade | 海拔 Altitude m | 5—9 月平均温度 Average temperature from May to September/°C | 年日照时数 Annual sunshine hours/h | 3—9 月日照时数 Sunlight hours from March to September/h | 5—9 月平均相对湿度 Average relative humidity from May to September/% | 坡度 Slope/° |
|---------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------------|---|--|---------------|
| 最适宜 Most suitable | >1 400~1 800 | >19.6~21.5 | >2 000~2 600 | >1 200~1 500 | >70~80 | <10 |
| 适宜 Suitable | >1 200~1 400、 >1 800~2 200 | >18.6~19.6、 >21.5~25.0 | >1 500~2 000、 >2 600~2 800 | >1 000~1 200、 >1 500~1 600 | >60~70、 >80~85 | 10~15 |
| 次适宜 Less suitable | 1 000~2 200 | 17.6~18.6 | 1 000~1 500 | 700~1 000 | 50~60、>85~90 | >15~25 |
| 不适宜 Not suitable | <1 000、>2 200 | <17.6、>25.0 | <1 000、>2 800 | <700、>1 600 | <50、>90 | >25 |

玉溪地区烟草种植气候适宜性综合评判结果如图 2 所示。从图 2 可以看出,玉溪地区烟草种植最适宜区主要分布在东部地区(澄江县、江川区、通海县、峨山县、华宁县),适宜区、次适宜区主要分布在中部地区(玉溪市、易门县、新平县),元江县及新平县部分地区则为不适宜区。元江县虽然有着良好的热量资源,但由于还分布着较多的坡度较高地区,因而造成元江地区的烟草种植气候适宜性不佳。而玉溪中东部地区,地势较为平缓,热量资源充足,具有良好的烟草种植潜力。

布的影响,构建了效果较好的气温空间分布模型。冬季的气温模拟效果较差于春季、夏季、秋季。且气温的空间分布与海拔、相对湿度呈负相关,与长波有效辐射呈正相关。

(2)随着 DEM 空间分辨率的减小,月平均气温的绝对误差和相对误差逐渐增加;其次,月平均气温空间差异性降低。其中,12.5 m×12.5 m、30 m×30 m、90 m×90 m 分辨率的月平均气温分布空间差异性不明显,1 000 m×1 000 m 的月平均气温分布空间差异性较为显著。

(3)玉溪地区气温空间分布均呈西南部高、东北部偏低且东西部温差较大的特征。根据热量资源的分布特征,玉溪地区烟草种植最适宜区主要分布在澄江县、江川区、通海县、峨山县、华宁县,适宜区、次适宜区主要分布在玉溪市、易门县、新平县,元江及新平部分地区则为不适宜区。

参考文献

- [1] 王秀珍,胡博文,谢新乔,等.新平县烤烟种植气候适宜性评价[J].安徽农业科学,2021,49(3):225-227,242.
- [2] 李新,程国栋,卢玲.青藏高原气温分布的空间插值方法比较[J].高原气象,2003,22(6):565-573.
- [3] 李景林,张山清,普宗朝,等.近 50a 新疆气温精细化时空变化分析[J].干旱区地理,2013,36(2):228-237.
- [4] BHUNIA G S,SHIT P K,MAITI R. Comparison of GIS-based interpolation methods for spatial distribution of soil organic carbon (SOC)[J]. Journal of the saudi society of agricultural sciences,2018,17(2):114-126.
- [5] 李军,黄敬峰,王秀珍.山区月平均气温的高空间分辨率分布模型与制图[J].农业工程学报,2004,20(3):19-23.
- [6] 曾燕,邱新法,何永健,等.复杂地形下黄河流域月平均气温分布式模拟[J].中国科学(D 辑:地球科学),2009,39(6):774-786.
- [7] 王茹.基于 GIS 空间分析技术的太原市大叶黄杨栽植用地适宜性研究[J].山西林业科技,2022,51(3):23-25.
- [8] 邓环,秦鹏程,蔡长春,等.湖北省植烟区精细化安全移栽期区划[J].中国农学通报,2016,32(13):129-135.
- [9] 李文华.云南省山区气温的空间插值研究[J].测绘与空间地理信息,2010,33(3):18-21,25.
- [10] 雷雯,何可杰,杨婷婷,等.基于 GIS 的陇县烤烟种植区划[J].安徽农业科学,2016,44(7):124-126.
- [11] 黄中艳.基于 GIS 的云南烤烟种植气候动态分区评估[J].地理研究,2011,30(8):1439-1448.
- [12] 陆魁东,黄晚华,肖汉乾,等.气候因子小网格化技术在湖南烟草种植区划中的应用[J].生态学杂志,2008,27(2):290-294.
- [13] 张喜峰,郑敏,王静,等.陕西陇县烟区气候特征与烤烟种植适应性评价[J].江西农业学报,2016,28(11):70-74.

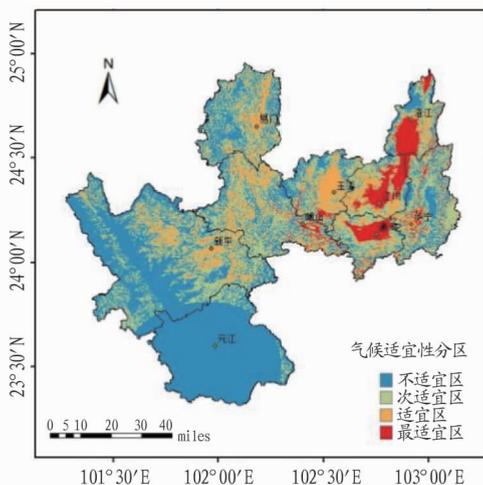


图 2 玉溪地区烟草种植气候适宜性区划

Fig. 2 Climate suitability zoning for tobacco planting in Yuxi area

3 结论

根据 2010—2019 年玉溪地区 23 个站点的常规气象观测资料、太阳总辐射和海拔,建立玉溪地区起伏地形下的有效气温模型;结合 ArcGIS 10.2 分析平台,根据 12.5 m×12.5 m、30 m×30 m、90 m×90 m、1 000 m×1 000 m 4 种不同分辨率的 DEM 地形数据提取的玉溪底图,模拟出不同 DEM 分辨率下玉溪地区 1—12 月平均气温的空间分布,实现了热量资源的小网格地域分布。具体结论如下:

(1)考虑海拔、太阳总辐射、长波有效辐射对气温空间分