

引用格式:施国萍,何永健,张眉,等.基于GridMet模型的浙江省温湿指数空间分布及地形影响分析[J].地球信息科学学报,2019,21(12):1923-1933. [Shi G P, He Y J, Zhang M, et al. Spatial distribution of THI in Zhejiang Province based on the GridMet model[J]. Journal of Geo-information Science, 2019,21(12):1923-1933.] DOI:10.12082/dqxxkx.2019.180635

基于GridMet模型的浙江省温湿指数空间分布及地形影响分析

施国萍¹,何永健¹,张眉²,邱新法^{3*},曾燕⁴

1. 南京信息工程大学地理科学学院,南京 210044;2. 浙江省气象服务中心,杭州 310017;
3. 南京信息工程大学应用气象学院,南京 210044;4. 江苏省气候中心,南京 210009

Spatial Distribution of THI in Zhejiang Province based on the GridMet Model

SHI Guoping¹, HE Yongjian¹, ZHANG Mei², QIU Xinfu^{3*}, ZENG Yan⁴

1. School of Geographic Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. Zhejiang Meteorological Service Center, Hangzhou 310017, China; 3. School of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 4. Jiangsu Climate Center, Nanjing 210009, China

Abstract: The temperature and humidity index is one of the climate comfort evaluation models, which reflects the heat exchange between human body and the surrounding environment through the combination of temperature and humidity. Based on the GridMet model, the spatial distribution of temperature and humidity indices (THI) in Zhejiang Province (100 m × 100 m) were simulated by using monthly average air temperature, relative humidity from 71 meteorological stations, and MODIS 05 over Zhejiang and surrounding areas during 2003-2018. Furthermore, we analyzed the distribution characteristics of THI in Zhejiang with the terrain factors (elevation, gradient, slope direction). The influence of terrain factors on the spatial distribution of the THI was discussed. The results show that most montane areas in Zhejiang were more comfortable in summer due to the topographic influence, and thus, are suitable for establishing summer tourism projects. Specifically, among the three topographic factors of elevation, slope, and aspect, the THI in January changed the most with the slope direction and the least in July. On the same slope, the change of slope degree had a greater impact on the THI in January, while the change of altitude had the greatest impact in July. The THI in January on the south slope increased slightly with the increase of elevation and slope degree, while in other months on the south slope and on the north slope THI increased slightly with the elevation, and the sum of the THI decreased with the increase of slope gradient. Compared with the south slope, the influences of elevation and slope gradient on THI were more obvious on the north slope.

Key words: climate comfort degree GridMet model; THI; spatial distribution; topographic influences; Zhejiang province

***Corresponding author:** QIU Xinfu, E-mail: xfqiu135@nuist.edu.cn

收稿日期:2018-12-05;修回日期:2019-05-22.

基金项目:国家自然科学基金青年项目(41805083);国家自然科学基金项目(41330529);江苏省第四期“333 高层次人才培养工程”科研项目(BRA2014373)。[**Foundation items:** National Natural Science Foundation of China, No.41805083; National Natural Science Foundation of China, No.41330529; The forth "333 High-level Talents Training Project" of Jiangsu province, No.BRA2014373.]

作者简介:施国萍(1984-),女,江苏南京人,博士,讲师,主要从事3S集成与气象应用研究。E-mail: shiguopingnj@163.com

*通讯作者:邱新法(1965-),男,浙江湖州人,博士,教授,主要从事3S集成与气象应用研究。E-mail: xfqiu135@nuist.edu.cn

摘要: 温湿指数是气候舒适度评价模型之一,通过温度与湿度的组合反映人体与周围环境的热量交换,本文利用2003–2018年浙江省及其周边71个气象站点月平均气温、地面水汽压数据,以及MODIS水汽产品,基于GridMet模型模拟了浙江省各月温湿指数空间分布(100 m×100 m),分析了浙江省温湿指数随地形因子(海拔、坡度、坡向)变化的特征;讨论了各地形因子对温湿指数空间分布的影响程度。结果表明:① 海拔、坡度、坡向3个地形因子中,1月温湿指数随坡向的变化最大,7月最小;② 同坡向上,坡度变化对1月温湿指数影响较大,而海拔变化则是对7月影响最大;③ 南坡1月温湿指数随海拔和坡度增加均略为增加,南坡其他月份及北坡各月均为随海拔和坡度增加温湿指数减小;④ 北坡相对于南坡而言,海拔和坡度对温湿指数的影响更为明显。浙江大部分山区由于地形影响,夏季较为“舒适”,适宜建立避暑消夏的旅游项目。

关键词: 气候舒适度;GridMet模型;温湿指数;空间分布;地形影响;浙江省

1 引言

温湿指数是气候舒适度评价模型之一,通过温度与湿度的组合反映人体与周围环境的热量交换^[1-2],是旅游开发与规划的重要指标,也是游客在选择旅游目的地时的主要参考依据。温湿指数最早由Thorn^[3]提出,反映在夏季湿热的气候环境下,人体的不舒适程度^[4]。从20世纪90年代开始,国内学者也对此展开了广泛的研究。近年来,利用GIS技术对旅游气候舒适度空间分布的研究逐渐深入^[5-8],气候舒适度在海拔、坡度、地貌类型上的差异突出^[9],舒适度指数空间分布的精细化模拟以及地理地形因子对舒适度指数的影响规律仍需深入研究。

温湿指数的空间分布模拟的精细化程度,主要取决于气温和湿度的精细化模拟。气温的精细化模拟研究主要是解决地表不均匀性对气温的影响,目前研究方法较多,并且对各种模拟方法比较的研究也很多,如陆琦等^[9]对IDW, Kriging, Spline等插值方法进行了比较,SHI等^[10]对AUSPLINE气温插值和GridMet_Climate_Temperature(简称GMCT)模型进行了对比,GMCT模拟结果更能够体现出海拔、坡度、坡向等局地因子对气温空间分布的影响。相对湿度是空气中水汽含量的表征之一,其空间化研究主要是解决大气不均匀性影响的问题,GridMet_Climate_Humidity(简称GMCH)利用常规气象观测数据和覆盖范围广的遥感数据相结合,能有效地解决高分辨率地面水汽的模拟^[11-12]。

浙江省适宜的气候环境、多样的民宿风格、加上经济发达、交通便利,使浙江省越来越成为周边度假、旅行、以及避暑的圣地。这也使浙江省的气候舒适度成为民众的关注焦点和学者的研究热点。本文基于GridMet气温模型、相对湿度模型对气候舒适度指标中的温湿指数进行精细化模拟,并详细分析浙江省温湿指数随海拔、坡度、坡向等地形因子的变化特征,以及地形对温湿指数精细化分

布的影响,以期为旅游评价与开发、度假区规划等提供科学依据。

2 研究区概况、研究方法与数据来源

2.1 研究区概况

浙江省位于27°03'N–31°11'N, 118°02'E–123°08'E,地处亚热带季风气候区,四季分明,气候适宜,且境内地形复杂,自西南向东北呈阶梯状倾斜,西南以山地为主,中部以丘陵为主,东北部是低平的冲积平原,山地和丘陵占了总面积的74.63%,多样的地理地形条件必然带来复杂的气候环境。浙江省一直引领全国旅游的发展,精品民宿、主题酒店、万村景区、厕所革命等众多标准和经验出自浙江^[13]。近年来我国共享住宿市场迎来爆发式增长,进一步推动了民宿行业稳定健康的可持续发展^[14]。民宿行业的发展也进一步促进了旅游业的蓬勃发展。2017年,浙江省共接待游客6.41亿人次,同比增长9.63%,实现旅游总收入9322.67亿元,同比增长15.14%^[15]。

2.2 研究方法

2.2.1 GridMet月平均气温计算方法

为了充分考虑实际起伏地形的影响,特别是在山区,对于起伏不平的地面,由于阳光射线的入射角不同,局地接收到的太阳辐射有显著差异^[16]。通过文献[17]分析表明,在影响气温的众多因素中,海拔、太阳总辐射、长波有效辐射对区域气温的形成具有显著的影响且有明确的物理意义。为此构造月平均气温的物理经验统计模型^[17],如下:

$$T_{ap} = a + bH_{ap} + cQ_{ap} + d(1-s)(1+w \cdot h) + \Delta T \quad (1)$$

式中: T_{ap} 为充分考虑地形影响的月平均气温/℃; H_{ap} 为海拔高度/m,可由DEM数据获取; Q_{ap} 为起伏地形下月平均太阳总辐射量/ $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$,由GMCR模型获得; s 、 h 分别为月平均日照百分率和相对湿

度,二者组合成 $d(1-s)(1+w\cdot h)$,代表长波有效辐射影响, s 、 h 均为常规气象站点的观测资料; 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 代表长波有效辐射对气温的影响强度; w 为经验系数; ΔT 为综合余项,是其他因素对气温的影响而引起的回归误差项,主要包括下垫面性质(土壤、植被状况等)不同,实际起伏地形对冷暖平流的阻挡等造成的气温差异等综合因素引起的回归误差项。 ΔT 的计算方法以及经验系数 a 、 b 、 c 、 d 、 w 的确定方法见参考文献[17]。

GridMet模型参数率定不同于传统的固态参数,而是以气候相似度为准绳,采用区域优化的动态匹配检索技术确定数据集方案,综合考虑了拟合精度、可靠性和稳定性等指标优化模型参数,控制模拟误差,保障模型在空间维、时间维上的模拟精度,建立了区域优化分站分月模型。张丹等^[18]应用该模型绘制了浙江省高分辨率气温空间分布图。此外,该模型已在山区逆温^[19]、浙江省热量资源模拟^[20]、浙江省茶叶种植区划^[21]等研究中得到应用。

2.2.2 GridMet月相对湿度计算方法

相对湿度 RH 为实际水汽压 VP 与饱和水汽压的 VP_s 的百分比,即:

$$RH=\frac{VP}{VP_s}\times 100\% \quad (2)$$

$$VP=a+b\times pwv \quad (3)$$

式中: VP 表示实际水汽压; pwv 为MOD 05大气可降水量月均值; a 、 b 为模型系数,同样采用上文所述的数据集群方案,建立区域优化的分站分月模型,具体方法参见参考文献[11]。

饱和水汽压的 VP_s 的计算公式为:

$$VP_s=6.11\exp[\alpha T_{af}/(T_{af}+\beta)] \quad (4)$$

式中:当 $T_{af}\geq 0$ 时, $\alpha=17.27$, $\beta=237.3\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_{af}<0$ 时, $\alpha=21.88$, $\beta=265.5$ 。 T_{af} 为3.2节中的起伏地形下月平均气温。

2.2.3 温湿指数计算方法

温湿指数(THI)计算公式及等级划分参考参考文献[1]–[2]:

$$THI=(1.8T_{af}+32)-0.55\times(1-RH)\times(1.8T_{af}-26) \quad (5)$$

式中: T_{af} 表示气温/ $^{\circ}\text{C}$; RH 表示相对湿度/%。

温湿指数具体级别划分如表1所示。为了便于分析,本文将温湿指数分为3大类:1–3级为等级A“冷,不舒适”;4–7级为等级B,“舒适”;8–9为等级C“闷热,不舒适”。

表1 温湿指数等级划分

Tab. 1 Index of THI

等级	温湿指数(THI)	级别内涵	冷热级别
1级	<40	极冷,极不舒适	A 冷,不舒适
2级	40~45	寒冷,不舒适	
3级	45~55	偏冷,较不舒适	
4级	55~60	清凉,舒适	B 舒适
5级	60~65	凉,非常舒适	
6级	65~70	温暖,舒适	
7级	70~75	偏热,较舒适	C 闷热,不舒适
8级	75~80	闷热,不舒适	
9级	>80	极其闷热,极不舒适	

2.3 数据来源

本文用到的数据包括气象观测数据、基础地理信息数据、遥感数据,及本文计算需用到的GridMet栅格产品,如地形开阔度、起伏地形下总辐射等模拟气温时需用到的参数。为了统一气象观测数据和MODIS遥感数据的时间尺度,本文研究资料的时间序列为2003–2018年。具体说明如下:

(1)气象数据:2003–2018年浙江省及其周边71个气象站点月平均气温、地面水汽压等资料。

(2)基础地理信息资料。主要包括:①浙江省边界及其周边气象站空间分布(图1);②浙江省1:25万DEM数据,来源于国家基础地理信息中心;③根据DEM计算坡度,坡向和地形开阔度。其中,坡度和坡向采用ArcGIS中Spatial Analysis中Surface Analysis的Slope和Aspect功能,在DEM数据的基础上计算获得;地形开阔度则利用曾燕等^[22]建

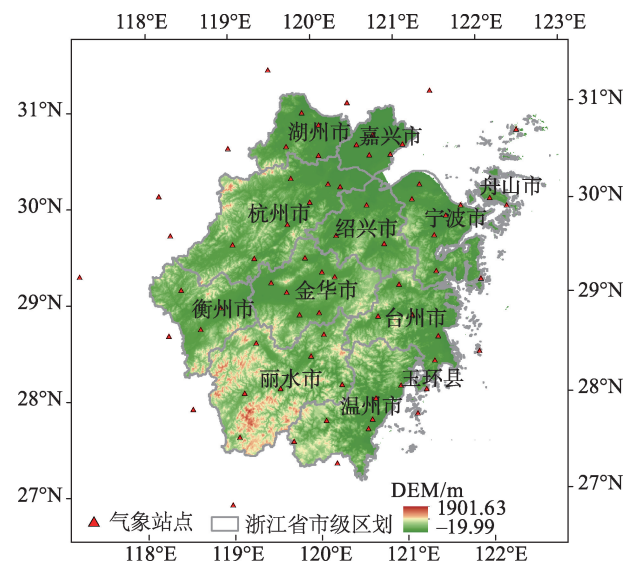


图1 浙江省DEM及气象站点分布

Fig. 1 DEM and the meteorological stations of Zhejiang

立的地形开阔度的模型计算得到。

(3)浙江省起伏地形下总辐射空间分布。太阳辐射与气温的关系非常密切,是影响气温变化的主要气象因子之一。GMCT模型的参数之一是起伏地形下的太阳总辐射,该辐射量由起伏地形下太阳总辐射分布式模型(GridMet_Climate_Radiation,简称GMCR)^[22-25]模拟而得,GMCR模型充分地考虑了每个格网点在日出日落时段内的每个瞬时,天文因子、大气因子、地形因子(海拔、坡度、坡向、地形开阔度、下垫面因子等)对于太阳辐射传输的影响。基于GMCR的浙江省各月辐射量精度可参阅文献[26]~[27]。

(4)MOD 05数据。2003–2018年MOD 05大气可降水量数据数据来源于美国NASA官网(<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov>),按月分组求均值,获得月平均的大气可降水量^[1],MOD 05数据近红外波段分辨率是1 km,红外分辨率5 km,模拟的大气可降水量输出分辨率为1 km。

3 结果及分析

3.1 温湿指数空间分布特征

根据GridMet系列模型中的月平均气温模型GMCT和月相对湿度模型GMCH,模拟获得2003–2018年多年平均起伏地形下月平均气温空间分布(空间分辨率为100 m×100 m)和多年平均月相对湿度空间分布(空间分辨率为100 m×100 m)。最后,根据式(1)完成浙江省温湿指数空间分布(图2)。

将由气象站点观测值直接计算得到的温湿指数视为真值,对模拟的温湿指数空间分布结果进行验证,71个气象站12个月共852个样本平均绝对误差为0.624,相关性达到0.995,模拟效果较好(图2)。

本文选择4、7、10和1月分别作为春夏秋冬季的代表,对浙江省温湿指数的空间分布进行分析,结果见图3。整体上看,浙江省全省冬季较冷,夏季较热,春秋较为舒适。由图3可见,在夏季整体“闷热,不舒适”的大环境下,南部山区仍然为“较舒适”,特别是丽水市内,山区夏季很凉爽、舒适,非常适宜开发避暑旅游度假项目。

为了分析地形因子对温湿指数空间分布的影响,再次利用同时段气温和降水的站点观测数据,使用插值法,计算了浙江省温湿指数空间分布。通过对气象要素插值法的比较^[9],本文选用IDW插值

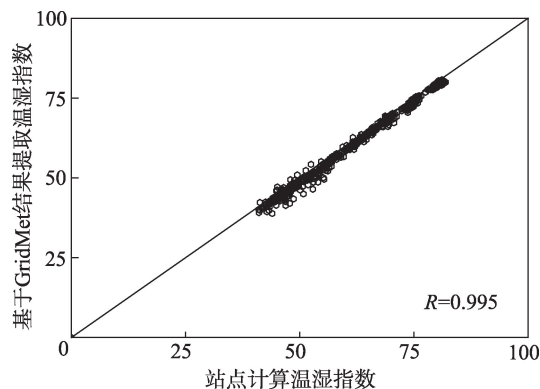


图2 2003–2018年浙江省基于GridMet模型计算的THI值与站点直接计算值对比

Fig. 2 Comparison between the GridMet-based THI and the site-calculated THI in Zhejiang province from 2003 to 2018

法分别对月平均气温、相对湿度进行空间化,再通过式(1)计算温湿指数的空间分布(100 m×100 m),效果如图4所示。对比图3和图4可以发现,2种方法的模拟结果在宏观上的分布规律是一致的,冬季处于冷热级别中的A级,夏季处于C级,春秋两季均处于B级。但是图3更细致地反映了地形的影响,如丽水南部由于山区影响,冬季较周边地区寒冷,但夏季要较周边地区舒适等。

由于常规气象站点建立在开阔平地,坡度为0,没有坡向,数量少且分布不均,其插值结果无法体现出坡度坡向等地形的影响。为了宏观体现地形对温湿指数的影响,本文将图4与图3相减,每个网格点充分考虑地形前后温湿指数值按热冷大类级别划分的变化如图5所示,冬季浙江大部分地区充分考虑地形前后,温湿指数值均在A级“冷,不舒适”区间中,只有温州局部地区较其他地区温暖,达到B级“舒适”(A→B);夏季丽水的大部分地区、温州、杭州、湖州局部地区,由于山体的影响温湿指数由C级“闷热,不舒适”变为B级“舒适”(C→B),适宜建立消夏避暑项目;春秋两季浙江西部及西南地区由于地形的影响,提前进入A级“冷,不舒适”区间(B→A)。

3.2 温湿指数空间分布随地形因子变化分析

为了具体分析地形因子对舒适度指数的影响,本文利用ArcGIS软件的Create Random Points功能,在全省范围内随机生成了5000个网格点,分别提取了这5000个网格上的海拔、坡度、坡向以及12个月的温湿指数,对这5000组数据做了统计,分析

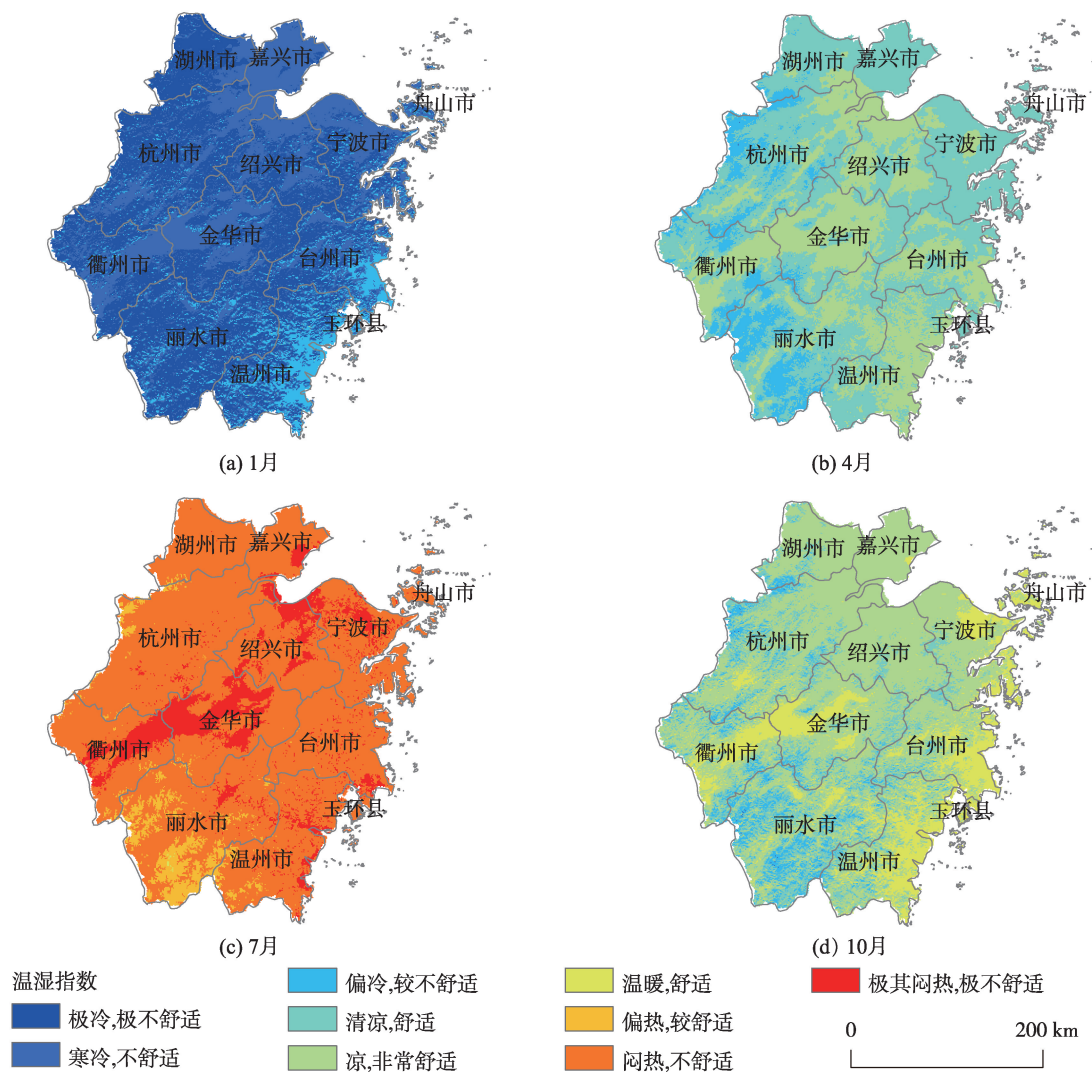


图3 2003–2018年基于GridMet的浙江省温湿指数空间分布

Fig. 3 Distribution of THI based on GridMet in Zhejiang province from 2003 to 2018

了浙江省温湿指数随海拔、坡度、坡向的变化特征。

5000个点的海拔范围为-1.951~1684.900 m,坡度范围为0~43.788°,坡向为0~360°(-1为平地,0°或360°为正北,90°为正东,180°为正南,270°正西)。

3.2.1 温湿指数随坡向的变化

图6是温湿指数随坡向的变化,1月温湿指数随坡向的变化最大,10月次之,4月、7月南北坡向上差别不大。冬季的南北坡温湿指数差要远大于夏季,这是由于冬季南北坡温差较大,气温是影响温湿指数的主要因素;东坡和西坡的温湿指数与各坡向平均温湿指数相当。所以,下文将着重分析南北坡向上温湿指数随地形因子的变化。

3.2.2 温湿指数随海拔的变化

由于温湿指数在南北坡的差异很大,所以本文

在上述5000个随机点中分别提取了坡向为135~225°的点作为南坡的样本,315~360°并0~45°的坡向作为北坡的样本,分析南北坡向上不同月份温湿指数随海拔的变化。

图7为1、4、7、10月南北坡温湿指数随海拔的变化特征。对照表1,图中虚线内为温湿指数第4级–第7级,指数范围55~75,表示在B级“舒适”的范围内。实线为趋势线。从图7可以看出,只有南坡1月温湿指数是随海拔而增加,但由于基数很小,所以整体指数仍然偏低,处于较冷不舒适环境的地区较多,并且决定系数 R^2 只有0.026,说明在1月的南坡,海拔与温湿指数关系不大。温湿指数变化与海拔关系最好的是7月,南北坡的决定系数均高于0.870,说明7月海拔对温湿指数的影响很大,海拔

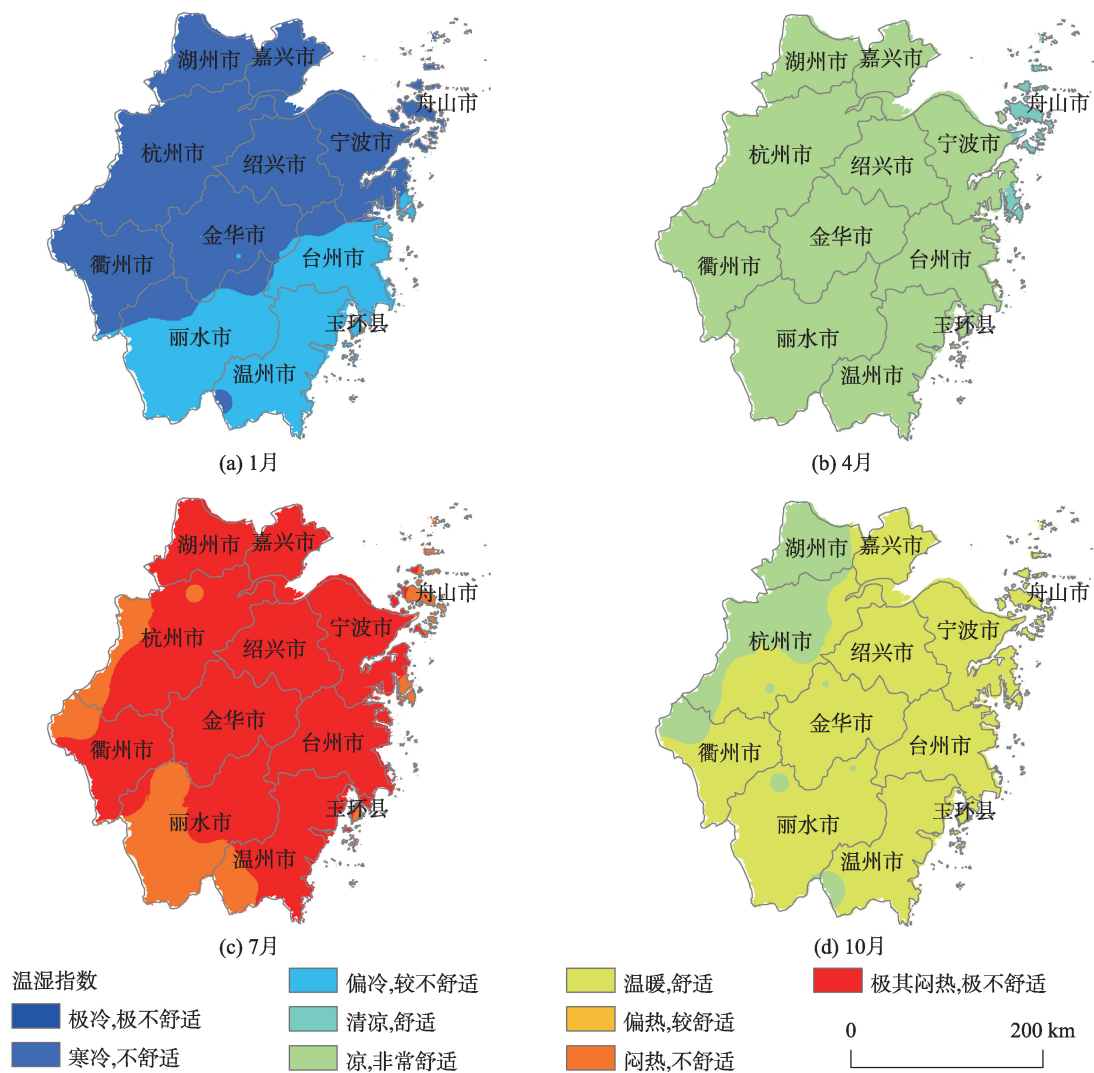


图4 2003–2018年基于IDW的浙江省温湿指数空间分布
Fig. 4 Distribution of THI based on IDW in Zhejiang province from 2003 to 2018

越高越舒适,由图上可以看出在海拔 700 m 左右,温湿指数由 C 级“闷热,不舒适”进入 B 级“舒适”区间,人体感觉舒适;4 月、10 月,整体较舒适,其中南坡 10 月所有采样点均在“舒适”区间内;与南坡相比,北坡温湿指数偏低。北坡各月的决定系数 R^2 ,除 7 月外均大于南坡对应月份的 R^2 ,说明在北坡,海拔对温湿指数的影响更为明显。

3.2.3 温湿指数随坡度的变化

图 8 分别为 1、4、7、10 月南北坡温湿指数随坡度的变化。由于是相同的 5000 个随机点,所以图中各月温湿指数的范围与图 7 一致。

南坡坡度对温湿指数影响普遍较小,最大的是 1 月, R^2 也仅为 0.45, 1 月随着坡度的增加,温湿指数也是增加的;4 月、7 月随着坡度的增加温湿指数呈

减少趋势;10 月温湿指数与坡度基本上没有关系, R^2 几乎为 0。决定系数 1 月>7 月>4 月>10 月。北坡坡度对温湿指数影响较大,特别是 1 月、10 月,决定系数 R^2 分别达到 0.848、0.746。其次是 4 月为 0.418, 7 月最小为 0.252。与南坡不同的是,在北坡,随着坡度的增加,舒适度指数都是减小的。所以,坡度对温湿指数的影响除了南坡 1 月是随着坡度的增大而增大,南坡 10 月不受坡度影响外,其他皆随坡度的增大而减小;1 月、10 月温湿指数随坡度的变化南北坡差异较大,4 月、7 月各月在南北坡的变化较一致;同样,除 7 月外,北坡各月的决定系数 R^2 均大于南坡,说明在北坡,坡度对温湿指数的影响同样较为明显,特别是 1 月和 10 月。

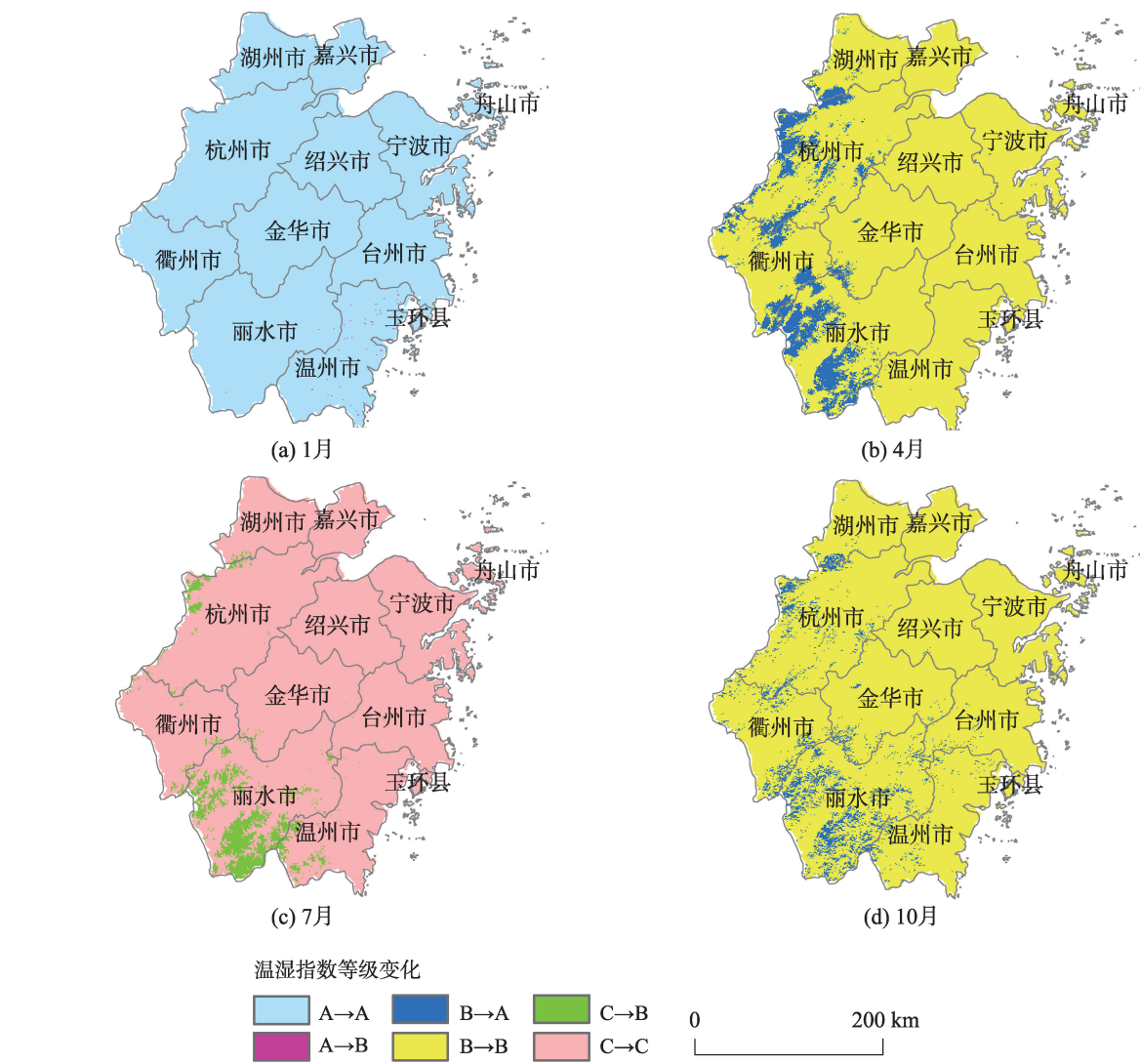
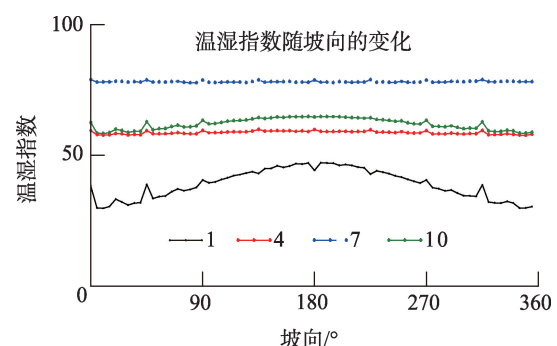


图5 地形对温湿指数等级空间分布的影响

Fig. 5 Geographical influence on the distribution of THI



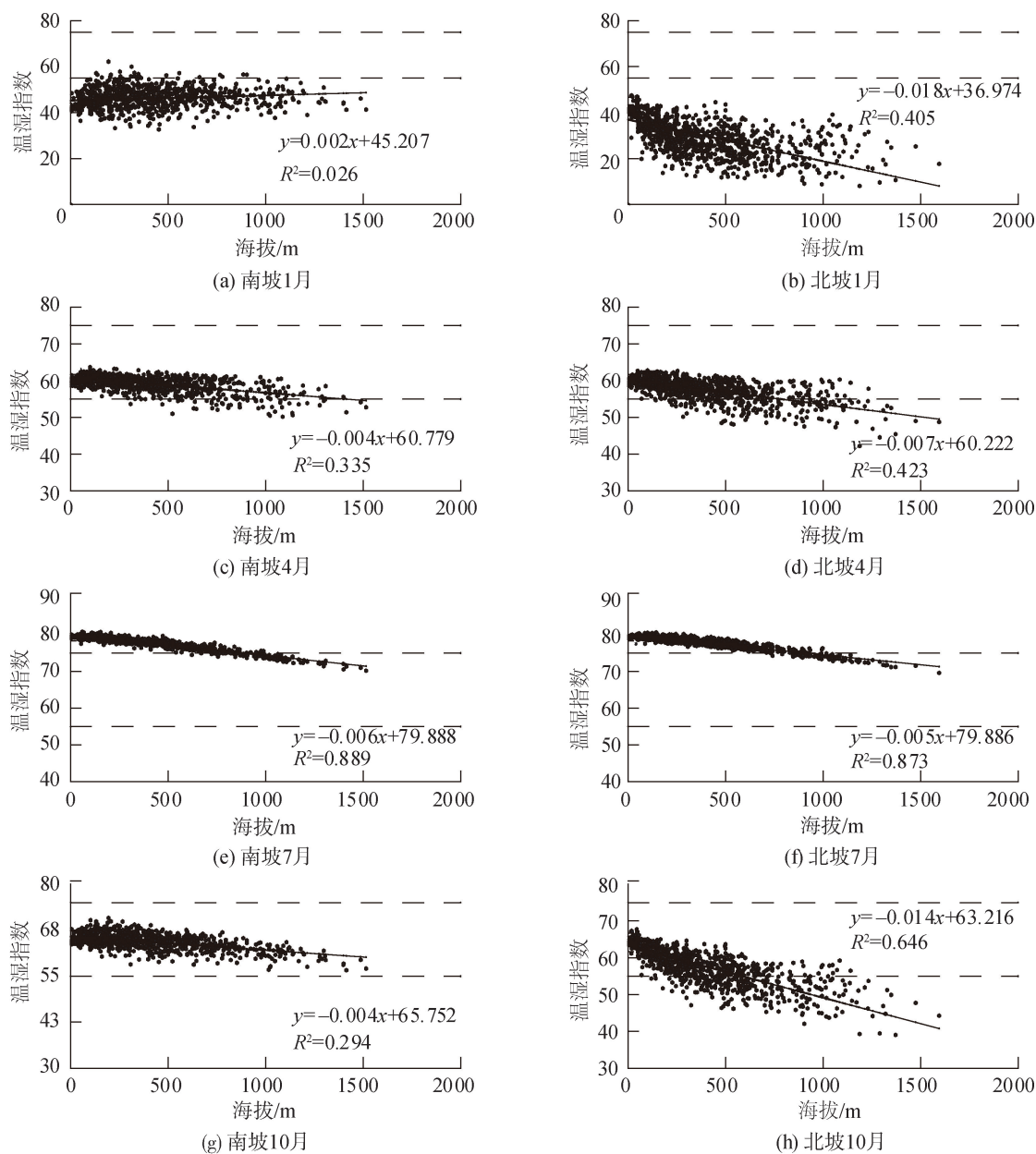
注: 0°为正北, 180°为正南。

图6 1、4、7、10月温湿指数随坡向的变化

Fig. 6 Changes of THI with aspect, in January, April, July and October

3.3 讨论

由上文分析可以看出,温湿指数在不同季节,不同海拔,不同坡向坡度上的分布差异很大。这种差异主要是由于地形因子对气温和相对湿度空间分布影响造成的。本次研究是GridMet模型首次被应用于温湿指数的空间精细化模拟。其中GMCT模型与其他气温模型相比,综合考虑了大气因子、宏观地理因子、局地地形因子(坡度、坡向、地形相互遮蔽)对气温的作用,考虑的地形因子相对全面。GMCH模型利用遥感数据与地面数据相结合,既能考虑水汽分布的宏观特征,又能反映精细化的局地特征。气温和相对湿度随海拔、坡向的变化特征对温湿指数随海拔、坡向变化规律起着决定作用。



注:两条虚线表示温湿指数在55-75的“舒适”区间。

图7 1、4、7、10月南北坡向上温湿指数随海拔的变化

Fig. 7 Changes of THI with altitudes, in January, April, July and October for north and south slopes

基于GridMet模型的温湿指数空间分布能够精细的反映出宏观区域、局地地形对于温湿指数的影响。其结果能够为各地区旅游开发与规划提供科学依据,也能在游客选择旅游目的地以及住宿环境时提供参考。

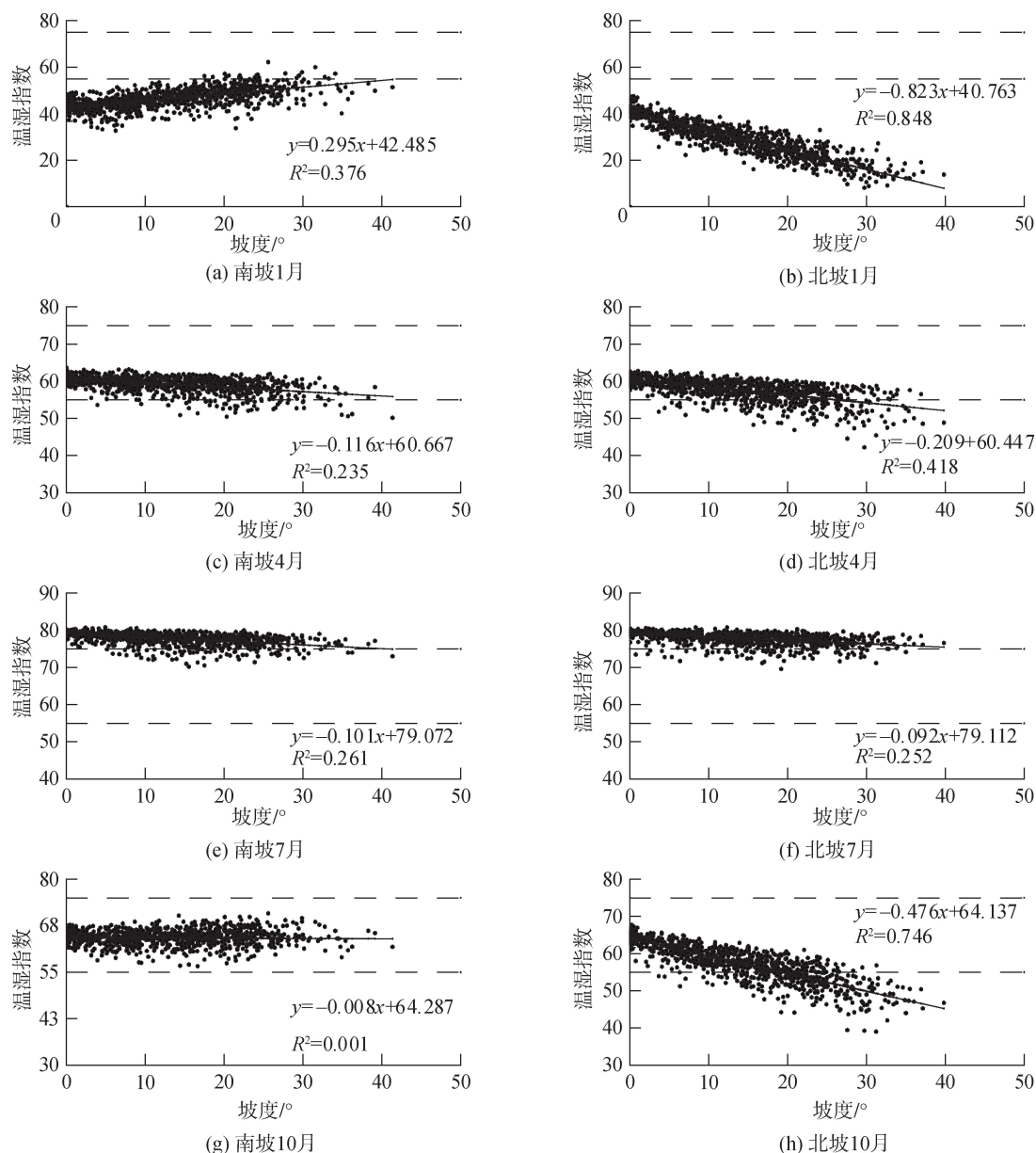
4 结论

本文利用GridMet模型,在全面考虑了地形因子对温湿指数影响的基础上,模拟了浙江省各月温

湿指数空间分布,分析了浙江省温湿指数随海拔、坡度、坡向等地形因子变化的特征,得出如下结论:

(1) 地形对于温湿指数空间分布的影响明显,浙江丽水的大部分地区、温州、杭州、湖州等地局部地区,由于山体的影响,夏季在海拔700 m左右,温湿指数由C级“热,不舒适”进入B级“舒适”区间,适宜建立避暑消夏的旅游项目。

(2) 基于GridMet模型的温湿指数空间分布随地形变化明显。海拔、坡度、坡向3个地形因子中,1月温湿指数随坡向的变化最大,7月最小;同坡向



注:两条虚线表示温湿指数在55-75的“舒适”区间。

图8 1、4、7、10月南北坡向上温湿指数随坡度的变化

Fig. 8 Changes of THI with slopes, in January, April, July, and October for north and south slopes

上,坡度变化对1月温湿指数影响较大,而海拔变化则是对7月影响最大;南坡1月温湿指数随海拔和坡度增加均略为增加,南坡其他月份及北坡各月均为随海拔和坡度增加温湿指数减小;北坡相对于南坡而言,海拔和坡度对温湿指数的影响更为明显。

参考文献(References):

[1] 孙根年,余志康.中国30°N、35°N线城市气候舒适度与地形三级阶梯的关系[J].干旱区地理(汉文版),2014,37(3):

447-457. [Sun G N, Yu Z K. Relationship of climate comfort degree of cities near 30°N、35°N with 3-step terrain of China[J]. Arid Land Geography (in Chinese), 2014,37(3):447-457.]

[2] 马丽君,孙根年,谢越法,等. 50年来东部典型城市旅游气候舒适度变化分析[J]. 资源科学,2010,32(10):1963-1970. [Ma L J, Sun G N, Xie Y F. A study on variations of the tourism climate comfort degree in five typical cities in Eastern China during the last 50 years[J]. Resources Science, 2010,32(10):1963-1970.]

[3] Thorn E C. The discomfort index[J]. Weathervise, 1959,

- (12):57-60.
- [4] 闫业超,岳书平,刘学华,等.国内外气候舒适度评价研究进展[J].地球科学进展,2013,28(10):1119-1125. [Yan Y C, Yue S P, Liu X H, et al. Advances in assessment of bioclimatic comfort conditions at home and abroad[J]. Advances in Earth Science, 2013,28(10):1119-1125.]
- [5] 韩会庆,黄娅,蔡广鹏,等. 1961-2010年贵州省气候舒适度时空变化特征[J].四川师范大学学报(自然科学版), 2018,41(1):138-142. [Han H Q, Huang Y, Cai G P, et al. Spatial and temporal variations of climate comfort degree in Guizhou province from 1960-2010[J]. Journal of Sichuan Normal University(Natural Science), 2018,41(1): 138-142.]
- [6] 邱黎,曹洁,林隆超,等.基于GIS的山东省旅游气候舒适度精细化评估[J].资源科学,2013,35(12):2501-2506. [Qiu C, Cao J, Lin L C, et al. Estimation and evaluation of tourism climate comfort levels in Shandong based on GIS[J]. Resources Science, 2013,35(12):2501-2506.]
- [7] 王林林.基于DEM的山东省气候舒适度时空分布研究[J].水土保持研究,2015,22(4):258-264. [Wang L L. Spatiotemporal distribution of climate comfort index based on DEM in Shandong province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2015,22(4):258-264.]
- [8] 张狄,史岚,丁浒,等.华东地区气候舒适度精细化估算及其分布特征研究[J].云南大学学报(自然科学版),2015, 37(5):695-704. [Zhang D, Shi L, Ding H, et al. The regional climate levels fine estimation and its distribution characteristics in East China[J]. Journal of Yunnan University, 2015,37(5):695-704.]
- [9] 陆琦,邱新法.基于GIS的月平均气温空间化方法的比较研究[J].科技通报,2017,33(3):43-48. [Lu Q, Qiu X F. Study on the comparison of spatial methods for monthly mean temperatures based on GIS[J]. Bulletin of Science and Technology, 2017,33(3):43-48.]
- [10] Shi G P, Sun Z A, Qiu X F, et al. Comparison of two air temperature gridding methods over complex terrain in China[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2017,4:1-11.
- [11] 张丹,刘昌明,付永锋,等.基于MODIS数据的中国地面水汽压模拟与分析[J].资源科学,2012,34(1):74-80. [Zhang D, Liu C M, Fu X F, et al. Estimation and analysis of near surface vapor pressure in China based on MODIS data[J]. Resources Science, 2012,34(1):74-80.]
- [12] 谭璐璐,史岚,王茜雯,等.中国区域空中水资源的计算与订正[J].江苏农业科学,2018,46(8):307-311. [Tan L L, Shi L, Wang Q W, et al. Calculation and revision of airwater resources in China[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018,46(8):307-311.]
- [13] 浙江省旅游局. 2018年浙江省旅游工作报告[EB/OL]. [2018-01-24]. [Tourism Bureau of Zhejiang Province. 2018 Zhejiang province tourism work report[EB/OL]. [2018-01-24].]
- [14] 国家信息中心分享经济研究中心.2018.中国共享住宿发展报告(2018) [EB/OL].[2018-05-18]. [National Information Center Sharing Economic Research Center.2018. China sharing accommodation development report (2018) [EB/OL].[2018-05-18].]
- [15] 浙江省旅游局. 2018.2017年浙江省旅游业基本情况 [EB/OL].[2018-01-26]. [Tourism Bureau of Zhejiang Province. 2018. Basic information of tourism in Zhejiang province in 2017 [EB/OL].[2018-01-26].]
- [16] 李梦洁.浙江省山地热量资源分布式模拟[D].南京:南京信息工程大学,2008. [Li M J. The Simulation of Terrain Heat Resources in Zhejiang Province[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science and Technology, 2008.]
- [17] Zeng Y, Qiu X F, He Y J, et al. Distributed modeling of monthly air temperatures over the rugged terrain of the Yellow River Basin[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2009,52:694-707.
- [18] 张丹,邱新法,曾燕.浙江省高分辨率气温空间分布图的计算与绘制[J].大气科学学报,2011,34(2):215-224. [Zhang D, Qiu X F, Zeng Y. Calculation and mapping of high resolution spatial distribution of monthly air temperature of Zhejiang Province[J]. Transactions of Atmospheric Sciences, 2011,34(2):215-224.]
- [19] 王幸,曾燕,邱新法.基于复杂地形下月平均气温分布式模拟的山区逆温研究[J].科学技术与工程,2015(24):1-8. [Wang X, Zeng Y, Qiu X F. Temperature inversion in mountain areas based on distribution simulation of monthly mean temperature under complex terrain. Science Technology and Engineering, 2015(24):1-8.]
- [20] 李梦洁.浙江省山地热量资源分布式模拟[D].南京:南京信息工程大学,2008. [Li M J. The simulation of terrain heat resources in Zhejiang province[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science and Technology, 2008.]
- [21] 王丹丹,邱新法,曾燕,等.基于分布式模型模拟的茶树种植适宜性区划[J].气象科学, 2018,38(1):121-129. [Wang D D, Qiu X F, Zeng Y, et al. Suitability regionalization of tea trees cultivation based on distributed model simulation[J]. Journal of the Meteorological Sciences, 2018,38(1):121-129.]
- [22] 曾燕,邱新法,何永健,等.起伏地形下黄河流域太阳散射辐射分布式模拟研究[J].地球物理学报,2008,51(4):991-

998. [Zeng Y, Qiu X F, He Y J, et al. Distributed modeling of diffuse solar radiation over rugged terrain of the Yellow River Basin[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2008,51(4):991-998.]
- [23] 曾燕,邱新法,刘绍民.起伏地形下天文辐射分布式估算模型[J].地球物理学报,2005,48(5):1028-1033. [Zeng Y, Qiu X F, Liu S M. Distributed modeling of extraterrestrial solar radiation over rugged terrains[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2005,48:1028-1033.]
- [24] 曾燕,邱新法,刘昌明,等.起伏地形下黄河流域太阳直接辐射分布式模拟[J].地理学报,2005,60(4):680-688. [Zeng Y, Qiu X F, Liu C M, et al. Distributed modeling of direct solar radiation on rugged terrain of the yellow river basin[J]. Acta Geographica Sinica., 2005,15:680-688.]
- [25] He, Y., X. Qiu, Y. Cao, et al. Estimation of monthly average sunshine duration over China based on Cloud fraction from MODIS satellite data[J]. Current Science, 2014, 107(12):2013-2018.
- [26] 李梦洁,郑建飞,曾燕,等.浙江省高分辨率太阳直接辐射图的计算和绘制[J].地球科学进展,2008,23(3):299-305. [Li M J, Zeng J F, Zeng Y, et al. Distribution modeling of direct solar radiation over rugged terrains of Zhejiang province[J]. Advances in Earth Science, 2008,23(3): 299-305.]
- [27] 尹静秋,邱新法,何永健,等.起伏地形下浙江省散射辐射时空分异规律模拟[J].大气科学学报,2011,34(1):93-98. [Yin J Q, Qiu X F, He Y J, et al. A model of the spatial and temporal variation rules of diffuse solar radiation over rugged terrain in Zhejiang province[J]. Transactions of Atmospheric Sciences, 2011,34(1):93-98.]