

基于 DEM 的山东省气候舒适度时空分布研究

王林林

(滨州学院 建筑工程系, 山东 滨州 256600)

摘要: 气候条件对人类居住环境的舒适与否有相当大的影响,通过地理信息系统技术,以山东省 114 个气象站点近 40 年的观测数据为基础,对区域气候因子与地形的关系建立相关计算公式,利用数字高程模型(DEM)数据对气候因子进行地形订正,生成实际地形下的气温、湿度和风速时空分布栅格数据,再将其代入气候舒适度模型进行栅格运算,得到实际地形下的山东省气候舒适度时空分布特征。研究表明,春季鲁西南地区较舒适,夏季全省都在舒适和较舒适范围内,秋季鲁中和半岛地势较高地区为不舒适地区,其余均在舒适和较舒适范围,山东省冬季气候舒适度为极不舒适。

关键词: 数字高程模型; 气候舒适度; 时空分布; 山东省

中图分类号: P208

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)04-0258-07

Spatiotemporal Distribution of Climate Comfort Index Based on DEM in Shandong Province

WANG Linlin

(Department of Architectural Engineering, Binzhou University, Binzhou, Shandong 256600, China)

Abstract: The climate condition has considerable influence on the comfort of living environment of human beings. Based on the spatial interpolation technique supported by GIS software, the correlation between terrain and climate, the temporal and spatial distribution of meteorological parameters such as air temperature, relative humidity and wind speed in Shandong Province were examined using DEM data and 40 years (1971—2010) meteorological data observed in 114 meteorological stations in the study area. Then the grid calculation was carried out using climate comfort index model, the temporal and spatial distribution of climate comfort index of actual terrain was obtained. The results show that different comfort degrees exist in different parts of Shandong Province in the four seasons. In spring, the climate is relatively comfort in the southwest region; in summer, the climate is comfort or relatively comfort in the whole province; in fall, the climate in the middle region and the peninsula region turns to uncomfortable; finally, in winter, the climate in the whole province turns to extremely uncomfortable.

Keywords: DEM; climate comfort index; spatiotemporal distribution; Shandong Province

气候条件对人类居住环境的舒适与否有相当大的影响,同时也是衡量一个城市或地区宜居性的重要指标^[1]。关于气候舒适度的研究经历了两个阶段:前期研究多为用一些定性的描述或采用经验公式进行定量讨论,后期研究进入定量阶段,出现了较多关于气候舒适度的计算公式和模型^[2-4]。目前,气候舒适度模型中所使用的气候因子多为气象站观测数据,在空间上缺乏连续性,或者只是经过简单的空间内插直接代入模型计算,得到的结果不够精确细致,不能反映实际地形下的气候舒适度时空分布模拟特征^[5-9]。

随着 GIS 技术的发展和 DEM 数据的建立,气候因子的模拟技术取得了较大进展。区域气候受地形

因子的影响非常显著,由 DEM 提供的经、纬度、高程信息以及派生出的坡度、坡向、地形粗糙度等数据为气候因子的栅格推算提供了基础,并且可以大大提高模拟的精度,国内外关于基于 GIS 与 DEM 的气候因子模拟取得了较多的成果^[5-24],不仅提高了运算速度、增加了模拟的精度,还对模型起到了一定的优化作用。然而,目前将气候因子空间分布模拟的研究成果应用到气候舒适度研究或者是将两者有机结合的研究和论述还不多见或者不够深入^[25-28],本文基于山东省 DEM 数据和气象站的观测数据(气温、相对湿度、风速等),运用 GIS 空间分析技术对气象数据进行空间插值,通过 DEM 数据进行订正,得到实际地

形下气候因子的时空分布格局,本文选取 1 月、4 月、7 月和 10 月分别代表春、夏、秋、冬四个季节进行模拟,再将气候因子时空分布结果代入气候舒适度模型中进行栅格数据代数运算,获得山东省气候舒适度时空分布特征。

1 数据来源与模型

本文研究所用的基础数据来源于山东省气象局,共涉及山东省内 114 个气象站点 1971—2010 年的历年逐月平均温度、湿度、风速、风向以及各气象站的经度、纬度和海拔高度数据。所用 DEM 数据为 SRTM DEM,空间分辨率为 85 m,对其进行投影转换得到研究区 DEM;采用 Albers 投影,椭球体为 kra-

sovsky。投影主要参数,第一条纬线:北纬 35°;第二条纬线:北纬 37°;中央经线:东经 118.5°;起始投影纬线:0°。

山东省气候舒适度模型选用陆鼎煌提出的综合舒适度指标,综合评价气温、相对湿度、风速 3 个因素对人体舒适程度的作用。其计算公式为^[4]:

$$S=0.6|T-24|+0.07|RH-70|+0.5|V-2| \quad (1)$$

式中:S——综合舒适度指标,表示实际的舒适状态偏离最佳舒适状态的程度,所计算出的值越大,表明该地区越不舒适;T——气温(℃);RH——相对湿度(%);V——风速(m/s)。气候舒适度的评价标准大致将其分为 4 个级别,如表 1 所示。

表 1 综合舒适度指标等级

综合舒适度指数	$S \leq 4.5$	$4.5 < S \leq 6.95$	$6.95 < S \leq 9.00$	$9.00 < S$
人体感觉	舒适	较舒适	不舒适	极不舒适

2 气候因子模拟

2.1 气温模拟

海拔高度和地形对气温的影响最为显著^[29,30]。海拔对气温的影响用气温直减率法表示,即每升高 100 m 气温降低 0.6℃,将气象站气温数据利用气温直减率法订正到同一海拔高度(零海拔),利用克里金法对其进行内插,得到水平面上气温的空间分布趋势,将其与 DEM 数据代入气温直减率公式进行栅格运算,得到各栅格不同高程上的气温分布,计算公式为^[13]

$$T_h = T_0 - 0.006 \times \Delta h \quad (2)$$

式中: T_h ——不同海拔高程上的温度; T_0 ——零海拔高程上的温度; Δh ——高度差。

一般情况下,坡地上气温分布随坡度、坡向、季节以及纬度而变化的规律和特点与坡地上的辐射相类似^[19]。利用 DEM 得到研究区高程、坡度、坡向等地形因子,结合太阳轨迹变化周期,构建太阳辐射模型,分别求出任一时刻、任一地点的平地 and 坡地太阳天文辐射值,太阳天文辐射模型如下^[31-32]:

$$S_0 = \frac{24}{\pi} I_0 E_0 (\omega_{s,i} \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_{s,i}) \quad (3)$$

$$S_{0\alpha,\beta} = \frac{I_0 T E_0}{2\pi} \sum_{i=1}^n [u \sin \delta (\omega_{s,i} - \omega_{r,i}) + v \cos \delta (\sin \omega_{s,i} - \sin \omega_{r,i}) - w \cos \delta (\cos \omega_{s,i} - \cos \omega_{r,i}) g_i] \quad (4)$$

其中:

$$\begin{aligned} u &= \sin \varphi \cos \alpha - \cos \varphi \sin \alpha \cos \beta \\ v &= \sin \varphi \sin \alpha \cos \beta + \cos \varphi \cos \alpha \\ w &= \sin \alpha \sin \beta \end{aligned} \quad (5)$$

式中: S_0 ——平地天文辐射值; $S_{0\alpha,\beta}$ ——坡地天文辐射值; T ——日长; φ ——纬度值; α ——坡度值; β ——

坡向值; I_0 ——太阳常数 1 367 W/m²; n ——可照时角的离散数目,取经验值 $n=36$ 。 $\omega_{r,i}, \omega_{s,i}$ ——微分时段内的日出和日没时角; g_i ——地形遮蔽度值。

然后通过辐射与温度之间的相关关系得到实际地形下的平均气温分布式模拟结果,计算公式为^[13]

$$T_s = T_h + r \times \Delta S \quad (6)$$

式中: T_s ——辐射订正后实际地形下的温度; T_h ——公式(2)的计算结果; ΔS ——坡地与平地天文辐射之差; $r=0.073 \text{ } 4^\circ\text{C}/(\text{MJ} \cdot \text{m}^2)$,为订正系数^[19]。

模拟过程在 ArcGIS 软件中进行,技术流程如图 1 所示^[10]。

模拟所得的气温时空分布结果如图 2 所示,在四张图中鲁中山区由于海拔较高,受气温直减率法影响都有一个温度的低值区。1 月温度为 -11.2~0.6℃,气温南部值高,北部值低,沿海地区高于内陆地区,总体上呈现纬向分布的趋势。鲁北和山东半岛内陆有一低值中心,而半岛的东部和南部地区为高值区。4 月温度为 5.3~16.4℃,由东向西温度逐渐升高,总体上呈现经向分布的特点。鲁西地区气温基本都在 14℃以上,南部沿海和半岛东部地区值相对较低。7 月温度为 17.8~27.2℃,由东向西升高,呈现经向分布趋势。内陆地区气温较高,而半岛的东部和南部沿海地区温度较低。10 月温度为 5.4~17.1℃,鲁南和半岛的东南沿海地区是高值区,而鲁北、鲁中山区的北部及半岛的内陆地区温度较低,总体上又呈现出纬向分布的特点。

2.2 湿度模拟

相对湿度的变化与高度、气温都有关系,因此在数据内插过程需要综合考虑两个因素,相对湿度的计算公式为^[25]:

$$r = r_0 \times 10^{\frac{7.5t_0}{237.3+t_0} - \frac{7.5t_z}{237.3+t_z} - \beta_z} \quad (7)$$

式中： r_0 ——地表相对湿度； t_0 ——地表温度； t_z ——高度 z 处的温度； β ——常数。首先将气象站实测湿度数据和气象站海拔高度代入公式(7)中得到同一海拔高度上气象站点的湿度分布数据，对此数据进行克

里金插值得到同一海拔高度上山东省湿度分布结果，将上文得到的零海拔气温和实际地形下气温利用公式(7)进行栅格代数运算，得到实际地形下的相对湿度空间分布特征。

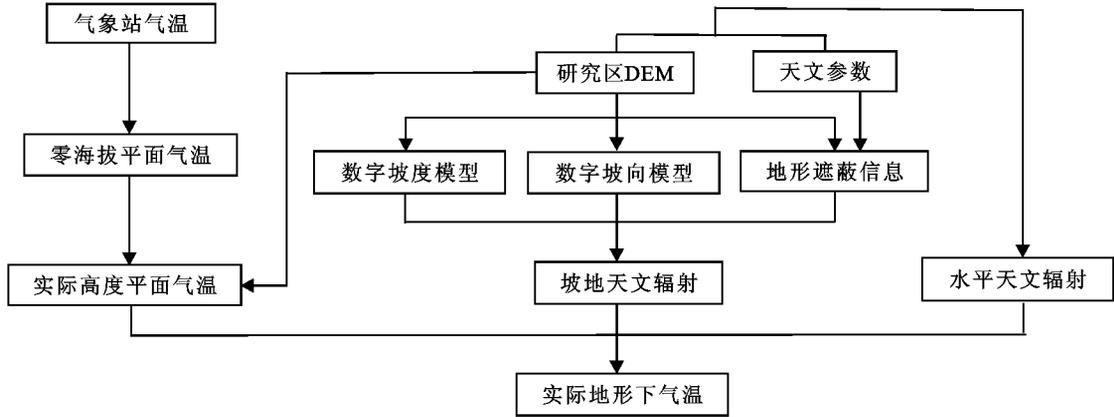


图1 气温分布式模拟流程

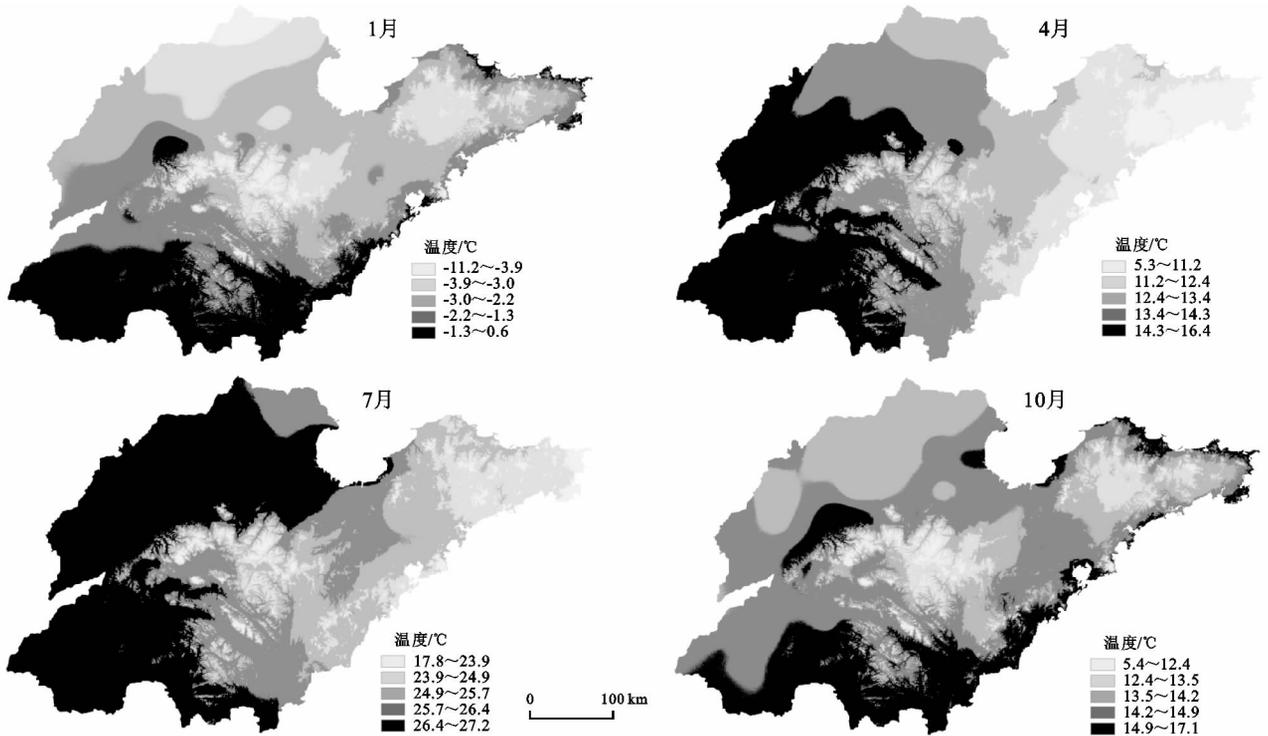


图2 山东省代表月份气温空间分布

模拟结果如图3所示,山东省各季节相对湿度的最低值都出现在鲁中山区周围,并以此地区为中心呈现环状分布湿度逐渐升高。地形对1月湿度分布的影响尤为显著,其次为10月,4月和7月相对湿度的分布受地形影响较小。1月湿度范围为52.9%~71.7%,鲁中丘陵山地地区湿度最低,其次为鲁北和鲁南地区,半岛和鲁西地区湿度最高。4月湿度在49.1%~72.8%,总体呈沿海岸线分布的趋势,鲁中地区为湿度低值区,其余地区由东南向西北湿度逐渐降低。7月湿度最低值为69.1%,出现在鲁中山区,高值为95.6%,分布在东部沿海地区,湿度总体分布

与4月类似,呈现离海岸线越近湿度越高的特征。10月湿度在58.2%~77.7%,最高值出现在鲁西地区,低值出现在鲁中和半岛北部地区。

2.3 风速模拟

起伏地形下的风速分布受多种地形因素的影响,本文主要分析了海拔、坡度、坡向和坡位的影响。基于DEM数据,运用窗口分析法计算 11×11 窗口内海拔最高值与最低值的差作为相对起伏度的取值^[33],然后参考地貌分类标准,将研究区按照相对起伏度分成平坦地形和起伏地形两类。相对起伏度小于50 m的平原地区为平坦地形,山地丘陵区划为起伏地形。

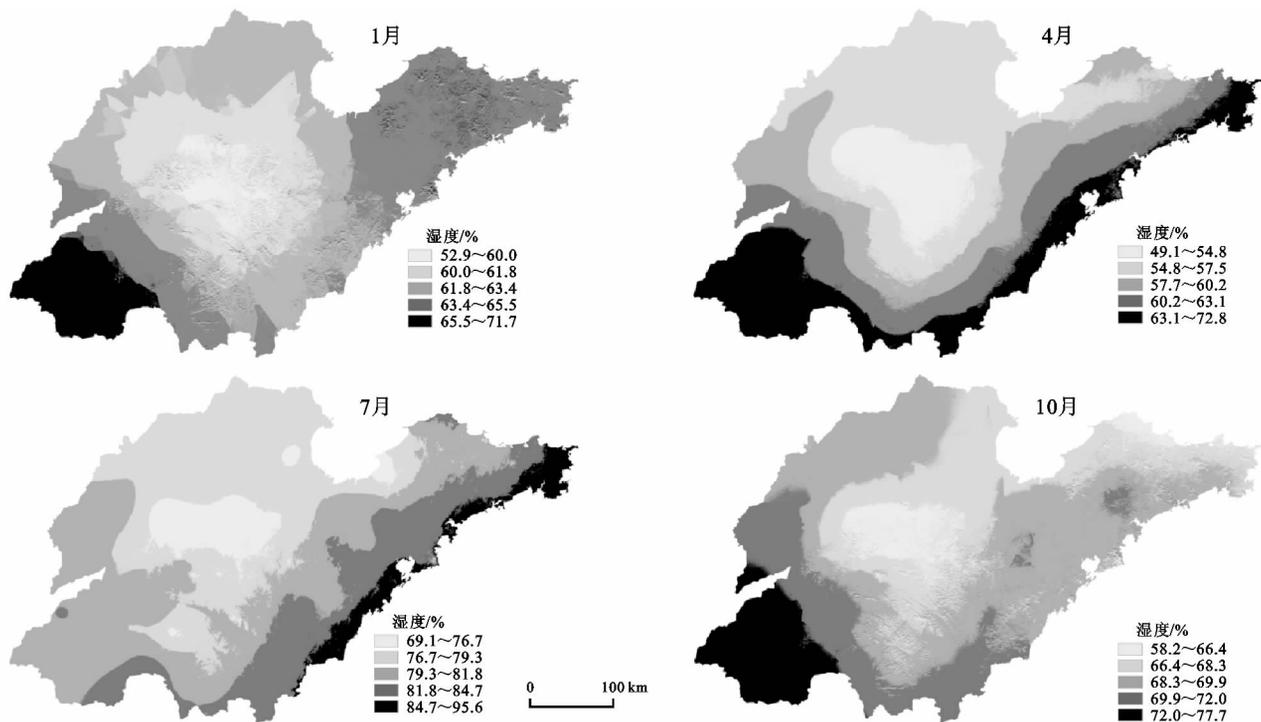


图 3 山东省代表月份湿度空间分布

由于山东省各气象站的平均海拔为 58 m 左右,利用沿袭已久的幂指数公式将各气象站点风速统一换算到 58 m 平面上,采用克里金法对其风速进行插值,得到 58 m 平面上的风速分布图层,将 DEM 数据与 58 m 平面上风速分布图层按幂指数公式进行栅格运算,得到不同海拔高度上的风速空间分布。幂指数公式如下^[15]:

$$u = u_1 \left[\frac{z}{z_1} \right]^m \quad (8)$$

式中: u, u_1 ——高度 z 和 z_1 处的风速值; m ——风速随高度变化指数,其取值按下垫面特征确定,一般在 $1/2 \sim 1/8$ 。利用条件语句进行判断,如是平原地区平坦地形,则直接为该栅格的风速值;如是山地丘陵地区起伏地形,则运用窗口分析法按坡度、坡向和坡位的组合关系,依据表 2 对风速进行订正^[15]。

以上基于 GIS 的风速分布模拟过程技术流程图 4 所示。

表 2 不同地形部位 2 m 高度风速与开阔平坦地风速的比值

地形	3~5 m/s		≥6 m/s	
	稳定层结	不稳定层结	稳定层结	不稳定层结
开阔平坦地形	1	1	1	1
山地丘陵起伏地形				
1. 山顶				
a) $\Delta h > 50$ m	1.4~1.5	1.6~1.8	1.2~1.3	1.4~1.5
b) $\Delta h < 50$ m	1.3~1.4	1.6~1.7	1.1~1.2	1.3~1.4
2. 坡度 $3^\circ \sim 10^\circ$ 的向风坡				
a) 山坡上部	1.2~1.3	1.4~1.6	1.1~1.2	1.3~1.5
b) 山坡中部	1.0~1.1	1.0~1.1	1.0~1.1	1.1~1.2
c) 山坡下部	1.0	0.8~0.9	0.9~1.0	1.0
3. 坡度 $3^\circ \sim 10^\circ$ 与风平行的坡地				
a) 山坡上部	1.1~1.2	1.3~1.4	1.0~1.1	1.2~1.3
b) 山坡中部	0.9~1.0	1.0~1.1	0.8~0.9	0.9~1.0
c) 山坡下部	0.8~0.9	0.9~1.0	0.7~0.8	0.8~0.9
4. 坡度 $3^\circ \sim 10^\circ$ 的背风坡				
a) 山坡上部	0.8~0.9	0.8~0.9	0.7~0.8	0.7~0.8
b) 山坡中部	0.8~0.9	0.9~1.0	0.8~0.9	0.9~1.0
c) 山坡下部	0.7~0.8	0.8~0.9	0.7~0.8	0.8~0.9

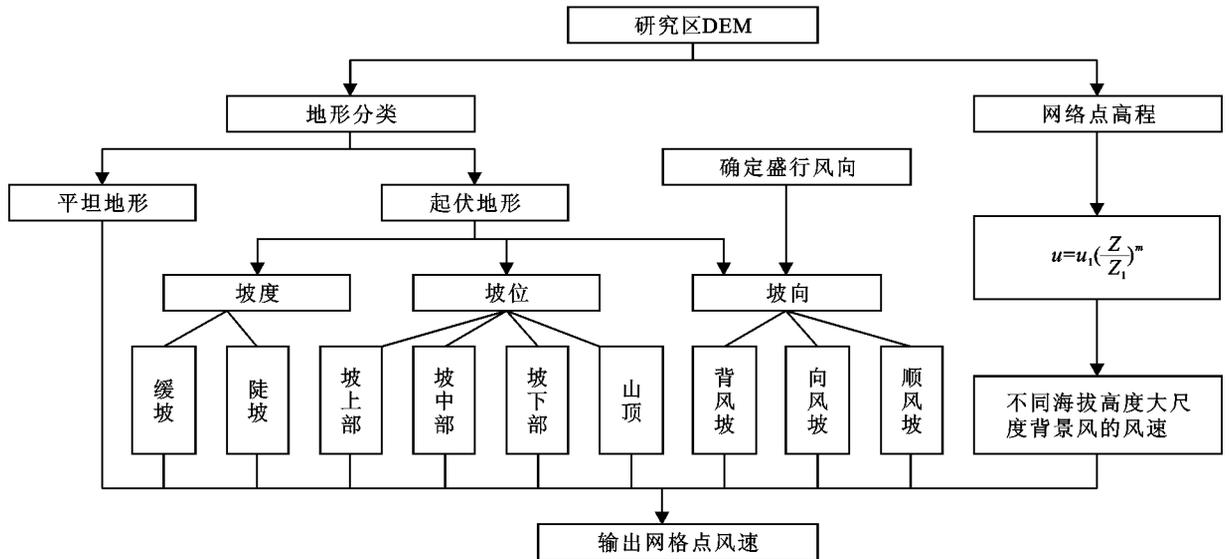


图 4 风速分布式模拟流程

风速模拟的结果如图 5 示。山东省各季节风速的最大值都出现在半岛丘陵地区和鲁中山区,最小值出现在鲁西和鲁中山区以南地区,最大值出现在 1 月为 8.19

m/s,夏季也就是 7 月的风速值最小。通过局部地区来看,风速在迎风坡和背风坡、山顶和山麓以及坡上与坡下等不同部位的差异,体现出了风速随地形变化的特点。

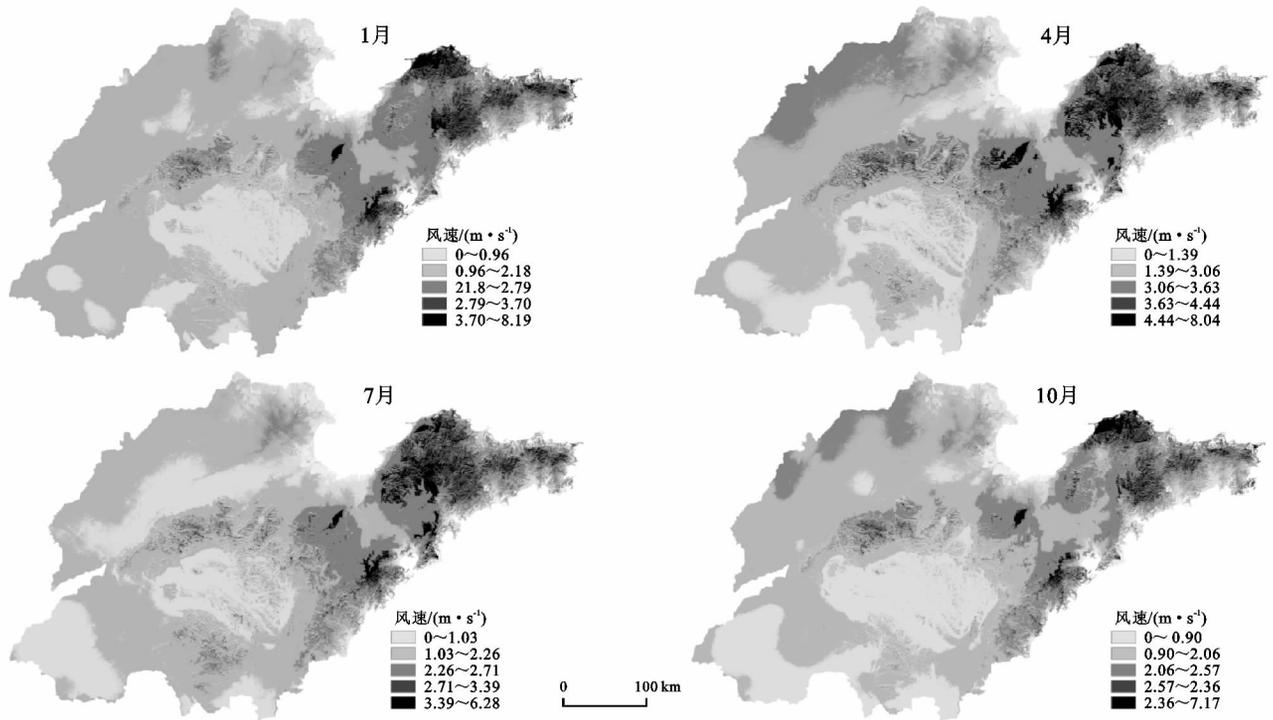


图 5 山东省代表月份风速空间分布

3 山东省气候舒适度分析

将 1 月、4 月、7 月和 10 月气温、相对湿度和风速的模拟结果代入舒适度模型(公式 1)进行栅格计算,得到山东省气候舒适度时空分布特征,如图 6 所示。

根据表 1 和图 6 可知山东省 1 月的气候舒适度指数都大于 9,也就是极不舒适,这是由于一月份山东省的温度和湿度较低、风速较大的原因,其中最不舒适的地区分布在鲁中山区、半岛丘陵地区和鲁北地

区。4 月的舒适度指数在 5.83~14.29,较舒适(5.83~6.95)的地区大都分布在鲁西南地区,极不舒适地区主要为鲁中山区和半岛地区,其余地区为不舒适(6.95~9)的地区,呈现出一定的经向分布特征。7 月的舒适度指数在 0.31~5.63,鲁中山区和半岛地区舒适度最为舒适,鲁西地区为较舒适地区,全省都在舒适和较舒适范围内。10 月的舒适度指数为 4.40~12.45,鲁中和半岛地势较高地区为不舒适地区,其余均在舒适和较舒适范围。

将经过 DEM 订正后的气温、湿度和风速栅格代入舒适度模型得到的结果,反映了实际地形下的山东省气

候舒适度时空分布特征,栅格化后的舒适度分布与地形有着密切的关系,实现了舒适度的精细化表达。

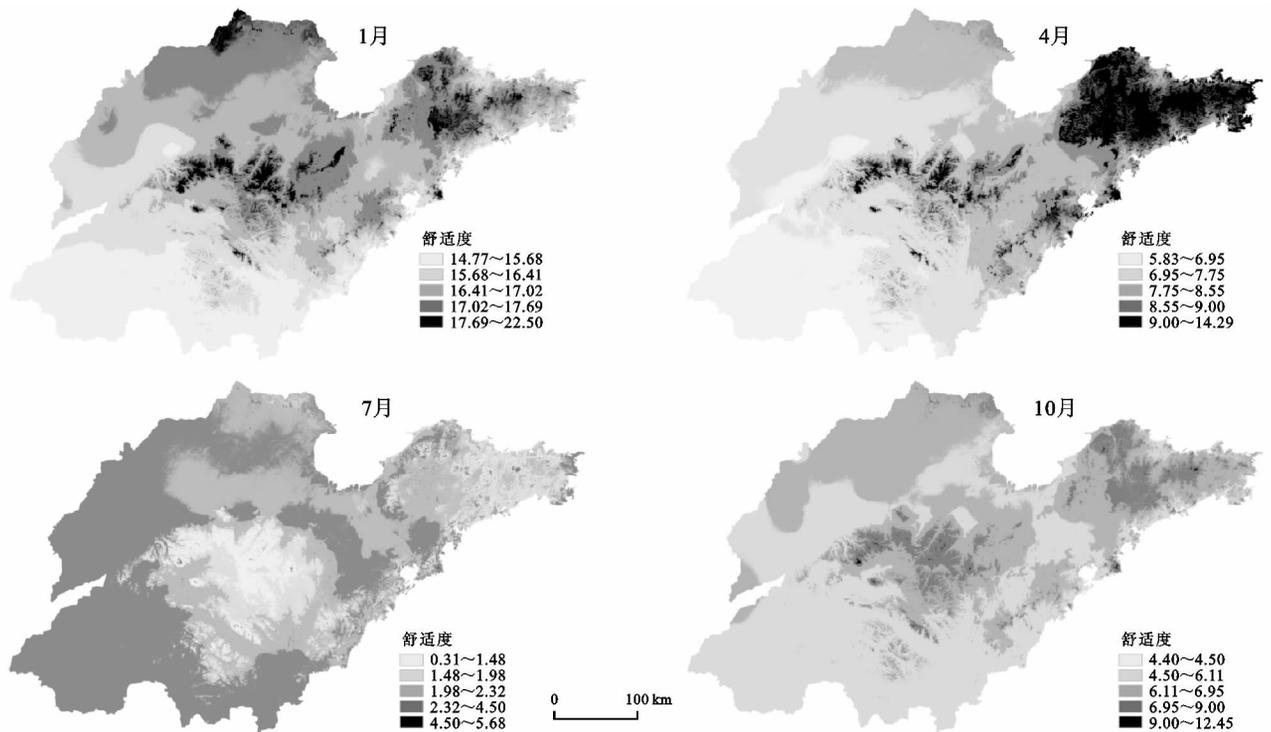


图 6 山东省代表月份舒适度空间分布

4 讨论与结论

本文运用 GIS 方法,将气象站点观测数据进行内插并且使用 DEM 数据进行了订正,将得到的实际地形下气温、湿度和风速时空分布数据代入舒适度模型中进行栅格运算,实现了山东省气候舒适度的分布式模拟,模拟结果表明山东省冬季气候舒适度为极不舒适,春季鲁西南地区较舒适,夏季鲁中山区和半岛地区舒适度最为舒适,鲁西地区为较舒适地区,全省都在舒适和较舒适范围内,秋季鲁中和半岛地势较高地区为不舒适地区,其余均在舒适和较舒适范围。栅格分辨率为 85 m,提高了舒适度时空分布模拟的精细程度,为人们的生活出行、政府及相关部门的决策提供了基础数据和依据。本文选用的舒适度模型是陆鼎煌提出的综合舒适度指标,采用温度、湿度和风速三个指标构建模型来评价气候因素对人体舒适程度的影响,是否有更适合山东省实际的评价方法和指标体系还有待于进一步的研究和探讨。

参考文献:

[1] 吴良镛. 人居环境科学导论[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2001.
 [2] 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.
 [3] Terjung W H. Physiologic climates of the conterminous united states: a bioclimatic classification based on man

[J]. Annals of the Association of American Geographers, 2010,56(1):141-179.

[4] 陆鼎煌,崔森,李重和. 北京城市绿化夏季小气候条件对人体的适宜度[C]//中国林学会. 林业气象论文集. 北京:气象出版社,1984.
 [5] 王远飞,沈愈. 上海市夏季温湿效应与人体舒适度[J]. 华东师范大学学报:自然科学版,1998(3):60-66.
 [6] 杨成芳. 山东省旅游气候舒适度研究[D]. 山东青岛:中国海洋大学,2004.
 [7] 马丽君,孙根年,李馥丽,等. 陕西省旅游气候舒适度评价[J]. 资源科学,2007,29(6):40-44.
 [8] 王华芳. 山西省旅游气候舒适度分析与评价研究[D]. 太原:山西大学,2007.
 [9] 马丽君,孙根年,王洁洁. 中国东部沿海沿边城市旅游气候舒适度评价[J]. 地理科学进展,2009,28(5):713-722.
 [10] 王林林. 基于 DEM 的山东省茶树优生区气候因子模拟[D]. 济南:山东师范大学,2007.
 [11] 王智勇. DEM 支持下的日照市茶树土地适宜性评价[D]. 济南:山东师范大学,2007.
 [12] 史同广. 基于 GIS 的山东茶园土地评价技术方法研究[D]. 郑州:解放军信息工程大学,2007.
 [13] 王林林,王智勇,史同广,等. 基于 DEM 的山东省气温分布模拟研究[J]. 山东建筑大学学报,2007,22(1):79-84.
 [14] 王林林,史同广,邹美玲. 基于 GIS 的日照市气温分布式模拟[J]. 地理与地理信息科学,2008,24(5):47-50.
 [15] 史同广,闫业超,王林林,等. 基于 DEM 的大尺度季风风速空间分布模拟研究[J]. 地理与地理信息科学,

- 2007, 23(2): 26-29.
- [16] 李军, 黄敬峰. 山区气温空间分布推算方法评述[J]. 山地学报, 2004, 22(1): 126-132.
- [17] 张洪亮, 邓自旺. 基于 DEM 的山区气温空间模拟方法[J]. 山地学报, 2002, 20(3): 360-364.
- [18] 杨昕. 基于 DEM 的地面光热资源模拟与农业应用[D]. 西安: 西北大学, 2004.
- [19] 程路. 秦岭山地辐射和气温空间分布研究[D]. 南京: 南京气象学院, 2003.
- [20] 王堰. 基于 GIS 的重庆市风速空间扩展研究[D]. 南京: 南京气象学院, 2004.
- [21] Daly C, Gibson W, Taylor G. A knowledge-based approach to the statistical mapping of climate [J]. *Climate Research*, 2002, 22(2): 99-113.
- [22] 李正泉, 于贵瑞, 刘新安, 等. 东北地区降水与湿度气候资料的栅格化技术[J]. *资源科学*, 2003, 25(1): 72-77.
- [23] 孟庆香, 刘国彬, 杨勤科. 基于 GIS 的黄土高原气象要素空间插值方法[J]. *水土保持研究*, 2010, 17(1): 10-14.
- [24] 张余庆, 陈昌春, 尹义星, 等. 江西多年平均降水量空间插值模型的选取与比较[J]. *水土保持研究*, 2013, 20(4): 69-74.
- [25] 王汶, 鲁旭. 基于 GIS 的人居环境气候舒适度评价: 以河南省为例[J]. *遥感信息*, 2009(2): 104-109.
- [26] 王胜, 田红, 谢五三, 等. 近 50 年安徽省气候舒适度变化特征及区划研究[J]. *地理科学进展*, 2012(1): 40-45.
- [27] 张狄, 史岚, 缪启龙, 等. 基于 GIS 的江苏省旅游舒适度精细化估算与评价[J]. *江苏师范大学学报: 自然科学版*, 2012, 30(3): 62-67.
- [28] 李娜. 基于 GIS 的东部沿海城市气候舒适度评价[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2014.
- [29] 陈晓峰, 刘纪远, 张增祥, 等. 利用 GIS 方法建立山区温度分布模型[J]. *中国图象图形学报*, 1998(3): 234-238.
- [30] 李军, 游松财, 黄敬峰. 中国 1961—2000 年月平均气温空间插值方法与空间分布[J]. *生态环境*, 2006, 15(1): 109-114.
- [31] 李占清, 翁笃鸣. 丘陵山地总辐射的计算模式[J]. *气象学报*, 1988(4): 461-468.
- [32] 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.
- [33] 陈学兄, 常庆瑞, 郭碧云, 等. 基于 SRTMDEM 数据的中国地形起伏度分析研究[J]. *应用基础与工程科学学报*, 2013, 21(4): 670-678.

(上接第 257 页)

- [4] 邬建国. 景观生态学: 概念与理论[J]. *生态学杂志*, 2000, 19(1): 42-52.
- [5] Wu Jianguo, Hobbs R. Key issues and research priorities in landscape ecology: An idiosyncratic synthesis[J]. *Landscape Ecology*, 2002, 17(4): 355-365.
- [6] 申卫军, 邬建国, 任海, 等. 空间幅度变化对景观格局分析的影响[J]. *生态学报*, 2003, 23(11): 2219-2231.
- [7] 杨丽, 甄霖, 谢高地. 泾河流域景观指数的粒度效应分析[J]. *资源科学*, 2007, 29(2): 183-187.
- [8] 赵文武, 傅伯杰, 陈利顶. 景观指数的粒度变化效应[J]. *第四纪研究*, 2003, 23(3): 326-333.
- [9] Qi Y, Wu J G. Effects of changing spatial resolution on the results of landscape pattern analysis using spatial autocorrelation indices[J]. *Landscape Ecology*, 1996, 11(1): 39-49.
- [10] Wu J, Shen W, Sun W, et al. Empirical patterns of the effects of changing scale on landscape metrics[J]. *Landscape Ecology*, 2002, 17(8): 761-782.
- [11] 李秀珍, 布仁仓, 常禹, 等. 景观格局指标对不同景观格局的反应[J]. *生态学报*, 2004, 24(1): 123-134.
- [12] 周伟, 钟星, 袁春. 1: 10000 比例尺土地利用景观指数的粒度效应分析[J]. *中国土地科学*, 2010, 24(11): 20-26.
- [13] 李小马, 刘常富. 景观格局指数的粒度效应: 以沈阳城市森林为例[J]. *西北林学院学报*, 2009, 24(2): 166-170.
- [14] 于磊, 赵彦伟, 张远, 等. 基于最佳分析粒度的大辽河流域湿地景观格局分析[J]. *环境科学学报*, 2011, 31(4): 873-879.
- [15] 曹银贵, 周伟, 王静, 袁春. 三峡库区 30a 间土地利用景观特征的粒度效应[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(6): 315-321.
- [16] 徐丽, 卞晓庆, 秦小林, 等. 空间粒度变化对合肥市景观格局指数的影响[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(5): 1167-1173.
- [17] 朱开群, 金晓斌, 周寅康. 土地整理项目区景观格局粒度效应初探[J]. *中国土地科学*, 2011, 25(3): 45-51.
- [18] 陈端吕, 宋涛. 西洞庭湖区森林景观指数适宜转换粒度[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(10): 110-114.
- [19] 申卫军, 邬建国, 林永标, 等. 空间粒度变化对景观格局分析的影响[J]. *生态学报*, 2003, 23(12): 2506-2519.