

王圆圆,李贵才,张艳. 利用 MODIS/LST 产品分析基准气候站环境代表性. 应用气象学报, 2011, 22(2): 214-220.

利用 MODIS/LST 产品分析基准 气候站环境代表性

王圆圆 李贵才* 张艳

(中国气象局中国遥感卫星辐射测量和定标重点开放实验室 国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘 要

该文基于 2001—2007 年地表温度遥感反演产品(MOD11A2),以基准气候站对其周围不同大小窗口内地表温度距平序列的解释方差作为度量,评估了我国 142 个基准气候站的环境代表性,并将代表性与土地覆盖和高程状况进行相关研究。结果显示:以解释方差大于 0.75 作为区分是否具有代表性的阈值,约 41% 的站点代表性较好,代表区域范围可超过 $51 \times 51 \text{ km}^2$,多分布于北方地区;约 21% 的站点代表性较差,代表区域范围不足 $7 \times 7 \text{ km}^2$,多分布于南方地区;其他代表区域范围居中的站点在南、北方均有分布;站点周围的土地覆盖多样性和地形起伏度与站点代表性存在负相关,且相关性随窗口的增大而加强。文中还评估了基准气候站对所属气候区的代表性,发现在气候特征复杂的西南地区 and 新疆部分地区,站点对气候区的代表性较差。

关键词: 基准气候站; 代表性; MODIS/LST 产品

引 言

气象站点多年气温观测是气候变化研究中的重要数据支撑^[1-2]。气象观测数据的优势在于观测精度较高,时间序列较长,但也存在很多问题:①只是点上的观测,温度场需要经插值后得出;②自然环境恶劣的地区经常没有站点,是数值空白区;③很多站点靠近城市,受热岛效应影响严重^[3]。后两个问题导致目前对气候变化的研究仍然存在很多争议,诸如是否因为站点位置的不适宜导致全球增温幅度被人为夸大等^[4]。

为了更加准确地了解气候变化趋势,气象观测数据必须具备足够的代表性。目前评价站点代表性的研究还相对较少。Jacobs 利用统计参数均值和变差系数,计算不同站点之间气象参数(温度、降水、雪深等)的相关性,通过分析站点在邻域的插值误差,评价台站数据的代表性^[5]。该方法直接利用气象数

据,故难以回避前面提到的气象观测中的一些问题。其实,气象站点能否获得具有代表性的观测数据,站点的环境代表性是重要前提,而环境的监测需要依靠宏观手段。基于遥感技术获取的相关数据或产品具有尺度大、范围广、周期性好等优点,可在气象站点环境代表性评估方面发挥重要作用。2007 年 7 月中国气象局在全国范围开展了气象台站观测环境状况评估工作,主要利用 Google Earth 提供的高空间分辨率遥感图像,分析气象站点周围的建筑分布状况^[6],认为站点周围建筑越多、距离越近,站点的环境代表性越差,该方法看似简单,但操作起来耗时费力,而且指标比较间接,难以量化评估站点所受环境影响。

本文设计了一套新的方法,将站点所处位置的环境要素与其周围一定空间范围内的环境要素平均状态进行对比,直接评估站点的环境代表性。在诸多环境要素中,如反照度、土地覆盖、植被指数、地表温度等,选择了与气象站点观测最相关的地表温度

2010-06-29 收到, 2010-12-02 收到再改稿。

资助项目:公益性行业(气象)科研专项“国家级台站环境代表性分析技术研究”(GYHY200906041-02),中国气象局气候变化专项“气候变化对中国南部及东南亚森林碳汇影响的遥感评估”(CCSF-09-09)

* 通信作者, E-mail: ligc@ema.gov.cn

(Land Surface Temperature, LST)。LST 目前已被广泛应用于气候变化^[7-8]、干旱监测^[9-10]、城市热岛^[11-12]、蒸散估算^[13]等研究中,并取得了很好的效果。

1 数据与方法

1.1 数据描述

① 2001—2007 年的中国区域 MODIS 地表温度产品 MOD11A2。该产品空间分辨率为 1 km,通过对全球逐日晴空像元地表温度产品(MOD11_L2)进行每 8 d 平均合成而获得,时间节点为 1, 9, 17, …, 353, 361, 一年共有 46 幅影像。

MOD11_L2 产品是利用分裂窗算法(split-window algorithm)反演得到的^[14],即利用 MODIS 两个相邻波段(10.78~11.28 μm 和 11.77~12.27 μm)对大气吸收作用的不同,通过两波段测量值的组合来剔除大气影响,进行大气和地表比辐射率的订正,进而获取晴空像元的地表温度。经过在不同地区的实地验证,MOD11_L2 产品精度一般在±1 K 以内,在干旱、半干旱地区,受地表比辐射率易被高估的影响,误差可能超过 1 K^[15-16]。由于 MOD11_L2 只提供晴空像元的 LST,故对其进行周期为 8 d 的平均合成,生成产品 MOD11A2,这样可明显增加具有 LST 信息的像元数量(如果同一个像元连续 8 d 在卫星过境时都是有云像元,则 LST 值设为 0 K)。

② 2008 年中国区域 MODIS 地表覆盖产品,空间分辨率为 1 km。该产品采用 IGBP 的分类体系,共 17 种地物类别,为方便在评估中的应用,将 17 种类别综合成 7 大类:森林、灌木、草地、耕地、城镇、水体、难利用地(如荒漠、冰川等)。

③ 中国区域 DEM 数据,空间分辨率为 1 km。

④ 中国气候区划矢量图。结合气候带与干湿状况,将全国划分成 48 个气候小区^[17]。

⑤ 142 个基准气候站的经纬度信息(未考虑海南省的西沙站和东方站)。

1.2 研究方法

首先,通过基准气候站的经纬度确定图像上所属像元,考虑到定位的不确定性,以 3×3 km² 窗口的平均值代表基准气候站,提取站点的 LST 时间序列;对于受到云的影响或其他干扰所造成的无值或数值明显不合理的时间点,通过相邻时间点 LST 线性插值进行估算,以便得到完整的时间序列;计算每

个时间点上的 LST 多年平均值,得到基准气候站的 LST 距平序列。

其次,在基准气候站所属像元周围设置不同大小窗口的缓冲区,由 5×5 km² 窗口开始,以 2 km 为步长,逐渐增加至 51×51 km²。提取窗口内平均的 LST 时间序列,插值获取完整的时间序列,计算窗口内的 LST 距平序列,方法同上。

最后,计算基准气候站对窗口的解释方差(explained variance),即站点 LST 距平序列和窗口 LST 距平序列的相关系数的平方。通过逐渐增大窗口,可以得出站点解释方差的变化趋势,并将此趋势与地表土地覆盖和高程状况相联系。

为了进一步评估基准气候站对所属气候区的代表性,文中还利用中国气候区划矢量图,提取了每个气候小区平均 LST 时间序列,计算站点对气候区 LST 距平序列的解释方差。

2 结果分析与讨论

2.1 解释方差随窗口的变化趋势

计算每种窗口下,所有基准气候站解释方差的均值,得出解释方差随窗口的变化规律。从图 1 可以看出,两者之间呈幂函数关系。窗口增加,基准气候站的解释方差减小,而且减小的速度逐渐变缓,即在站点周围较小的空间范围内,窗口增大导致站点解释方差下降更快。

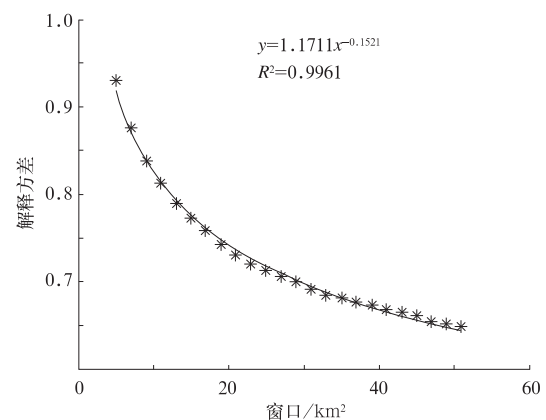


图 1 解释方差随窗口大小的变化
(所有基准气候站的平均状况)

Fig. 1 Change trend of the average explained variances with increasing window sizes (averaged for all reference climatological stations)

2.2 站点代表区域计算

从图 1 可以看出,当解释方差低于 0.75 时,窗

口增加所导致的解释方差下降速度明显变缓,故以 0.75 作为阈值,认为当解释方差低于该值时,站点不具有区域代表性,依据此规则,可以计算每个站点所能代表的最大空间范围,结果如表 1 和图 2 所示。约 41% 的站点代表性很好(代表窗口 $\geq 51 \times 51 \text{ km}^2$),多为北方站点;约 11% 的站点代表性较好

($31 \times 31 \text{ km}^2 \leq$ 代表窗口 $\leq 49 \times 49 \text{ km}^2$),零星分布于西北和中部地区;约 27% 的站点代表性一般($9 \times 9 \text{ km}^2 \leq$ 代表窗口 $\leq 29 \times 29 \text{ km}^2$),在南、北方均有分布;剩余 21% 的站点代表性较差(代表窗口 $\leq 7 \times 7 \text{ km}^2$),多为南方站点(表 2)。

表 1 根据代表窗口大小对站点的分类统计

Table 1 Statistics and categorization of the meteorological stations based on the maximum representative window size

代表性	可代表最大窗口大小/ km^2	站点个数	所占比例/%
很好	$>51 \times 51$	58	41
较好	$31 \times 31 \sim 49 \times 49$	16	11
一般	$9 \times 9 \sim 29 \times 29$	38	27
较差	$3 \times 3 \sim 7 \times 7$	30	21

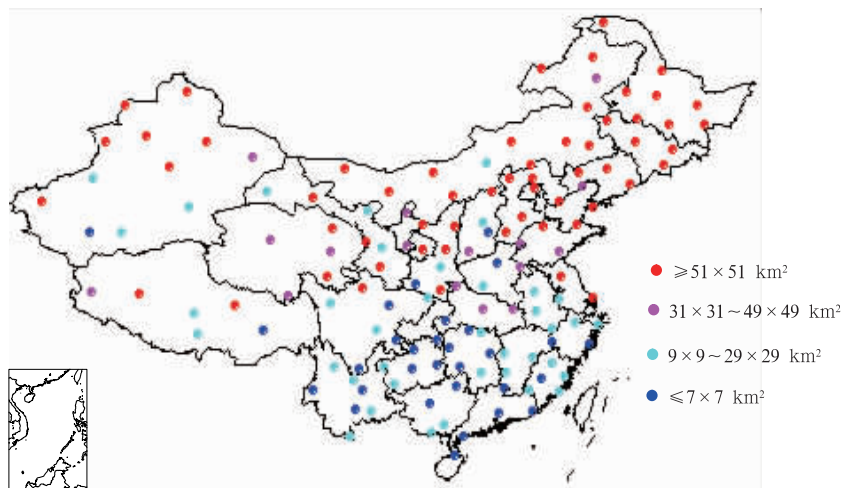


图 2 基准气候站代表窗口分布示意图

Fig. 2 Illustration of reference climatological stations with different maximum representative window sizes

表 2 代表窗口不超过 $7 \times 7 \text{ km}^2$ 的站点列表 (单位: km^2)

Table 2 List of the meteorological stations with maximum representative window size no more than $7 \times 7 \text{ km}^2$ (unit: km^2)

城市	代表窗口	城市	代表窗口	城市	代表窗口
玉山	7×7	增城	7×7	郑州	5×5
榆社	7×7	永安	7×7	桐梓	5×5
石门	7×7	汕头	7×7	三穗	5×5
会理	7×7	海口	7×7	贵阳	5×5
汉中	7×7	桂林	7×7	都安	5×5
恩施	7×7	南雄	7×7	电白	5×5
酉阳	7×7	株洲	5×5	武冈	3×3
昆明	7×7	绵阳	5×5	纳溪	3×3
洪家	7×7	吉首	5×5	林芝	3×3
和田	7×7	腾冲	5×5	元江	3×3

2.3 站点代表性与地表状况的相关分析

站点代表性和窗口内的均匀程度有很大关系,

为定量刻画地表均匀程度,探讨其与代表性的相互关系,设计了以下两个参数。

① 地表覆盖多样性指数:

$$I_D = -\sum_{i=1}^n r_i \times \ln r_i \quad (1)$$

式(1)中, n 为某窗口下地表覆盖种类的个数, r_i 为第*i*种覆盖类型所占面积比,覆盖种类越多,结构分布越均匀,则景观越复杂,多样性指数越大。该指标是基于生态学中评估生物多样性的 Shannon-Weiner 指数提出的。

② 地形起伏度^[18](单位:m):

$$E = E_{\max} - E_{\min} \quad (2)$$

式(2)中, E_{\max} 为某窗口内高程的极大值, E_{\min} 为窗口内高程极小值。

通过推理可知,地表覆盖多样性指数越大,地形

起伏度越高,站点的解释方差越小,呈负相关。图 3 显示了不同窗口下,解释方差与上述两个因素相关系数的变化趋势。从图 3 可以看出,基准气候站对窗口的解释方差和窗口内土地覆盖多样化程度的关

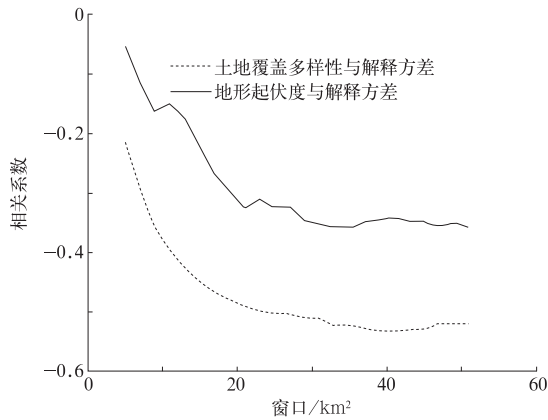


图 3 不同窗口下站点解释方差与窗口内土地覆盖多样性指数和地形起伏度的相关性

Fig. 3 Correlation coefficients of explained variance to land cover diversity and terrain undulation at different window sizes

系更为紧密,而与窗口内地形起伏度的相关程度较弱,这很有可能与东西部地区地形起伏度差异太大有关;相关性随着窗口的增大而加强,当窗口超过一定大小时,相关系数基本保持稳定。

上述研究是针对所有基准气候站整体情况而言。为分析单个站点代表性的变化规律,依次计算了每个站点所有窗口下解释方差与地表覆盖多样性指数和地形起伏度的相关系数,通过比较相关系数得出,两个因素对代表性的影响大小相当的站点有 37 个(相关系数绝对值的差值低于 0.05 则认为两个因素相当),地形因素对代表性的影响明显占优的站点有 80 个,土地覆盖因素对代表性的影响明显占优的站点有 25 个,不同类型站点分布如图 4 所示。以土地覆盖多样性指数和地形起伏度作为自变量,可以用线形回归的方法很好得模拟几乎所有站点的解释方差,但有数个站点的模拟效果较差($R^2 < 0.81$, R 为相关系数),如酒泉、兴城、饶阳、大连、泾河、株洲等,很有可能与这些站点临海或过于靠近城市有关,城市扩张是这些站点代表性分析中的重要因素。

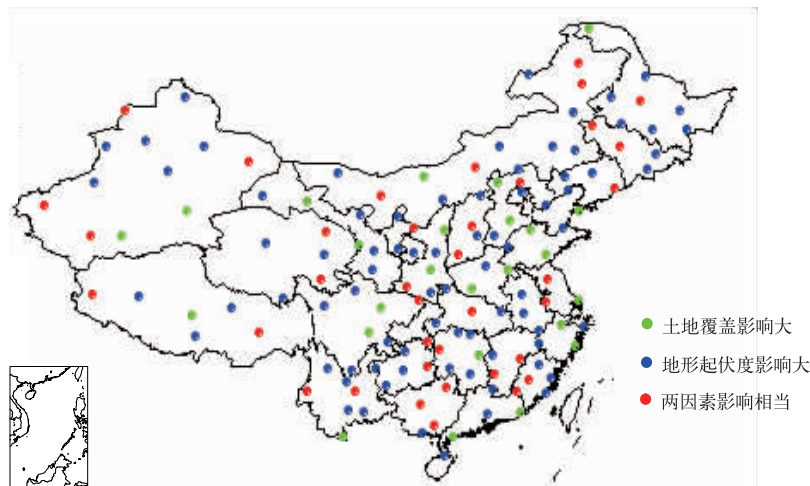


图 4 土地覆盖和地形起伏度对站点代表性的影响分布图

Fig. 4 Distribution of different types of meteorological stations categorized based on the magnitude land cover diversity and terrain undulation influences

2.4 站点对所属气候区的代表性

根据气候带和干湿状况,将我国分为 48 个气候区^[17],区域内部气候较为相似,站点如果能对气候区内的 LST 距平序列有很高的解释方差,则可以认为该站点对所在气候区有较好的代表性。

由于气候区面积较大,单个站点对气候区的解释方差远远低于对其周围窗区的解释方差,最大值

也不足 0.7。根据解释方差的数值分布,将站点划分为 4 类(如图 5 所示)。解释方差超过 0.45 的站点表明其对所在气候区的代表性很好,主要分布在北方地区;解释方差介于 0.45 和 0.25 之间的站点主要分布在中东部,其中解释方差略高(介于 0.35 和 0.45 之间)的站点更靠近北部和中部地区,解释方差略低(介于 0.25 和 0.35 之间)的站点更靠近南

部和东部地区;解释方差低于0.25的站点表明其对所在气候区的代表性很差,主要分布在气候类型复

杂的西南和新疆部分地区,说明在这些地区有必要设立更多的站点。

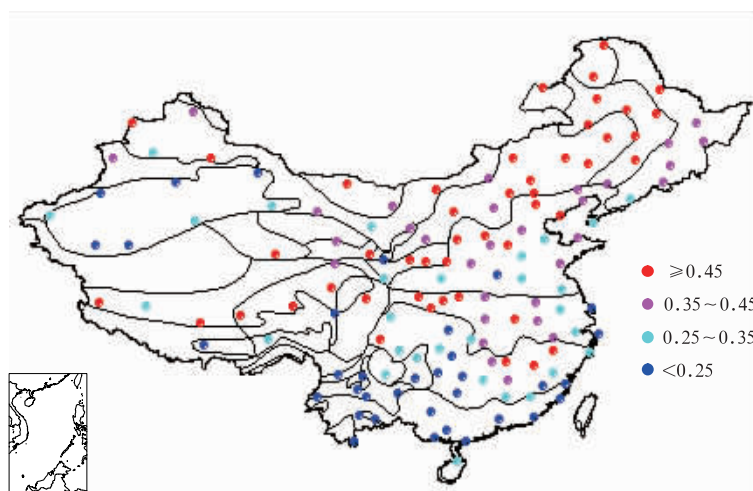


图5 基准气候站对所在气候区LST距平序列的解释方差
Fig. 5 Explained variance of reference climatological stations for the LST anomaly series of their own climate zones

3 小 结

本文提出了基于中尺度遥感数据的站点区域代表性评估方法。利用2001—2007年MODIS/LST产品(MOD11A2),通过计算基准气候站对不同大小窗口内LST距平序列的解释方差,实现了站点代表性的客观评价。研究结果显示:约41%的站点代表性较好(代表窗口大小可超过 $51 \times 51 \text{ km}^2$),多分布于北方;约21%的站点代表性较差(代表窗口大小不超过 $7 \times 7 \text{ km}^2$),多分布于南方地区;土地覆盖多样性和地形起伏度是影响站点代表性的两个重要因素;在气候类型复杂的西南和新疆部分地区,基准气候站对其所在气候区的代表性最低。

站点代表性评估在站网调整、新站选址等工作中具有重要的实际意义;此外,如果能在传统气象数据的插值研究中考虑站点代表性因素,很有可能获得最佳的插值效果。今后将尝试采用其他遥感数据(如NDVI产品序列)、增加数据序列长度,考虑城市扩展因素,继续深入开展站点环境代表性的研究。

参 考 文 献

[1] 张强,阮新,熊安元. 近57年我国气温格点数据集的建立和质量评估. 应用气象学报,2009,20(4):385-393.
[2] 赵天保,华丽娟. 几种再分析地表气压资料在中国区域的适

用性评估. 应用气象学报,2009,20(1):70-79.

- [3] 邵全琴,孙朝阳,刘纪远,等. 中国城市扩展对气温观测的影响及其高估程度. 地理学报,2009,64(11):1292-1302.
[4] McKittrick R R, Michaels P J. Quantifying the influence of anthropogenic surface processes and inhomogeneities on gridded global climate data. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, 2007, 112, D24S09, doi: 10.1029/2007JD008465.
[5] Jacobs J D. Spatial representativeness of climatic data from Baffin Island, N. W. T., with implications for muskoxen and caribou distribution. *Arctic*, 1989, 42 (1): 50-56.
[6] 王一姝,高晓东. 利用Google earth调查气象台站环境. 气象与环境科学,2009,32(1):88-90.
[7] Julien Y, Sobrino J A, Verhoef W. Changes in land surface temperatures and NDVI values over Europe between 1982 and 1999. *Remote Sens Environ*, 2006, 103: 43-55.
[8] Oku Y, Ishikawa H, Haginoya S, et al. Recent trends in land surface temperature on the Tibetan Plateau. *J Climate*, 2006, 19: 2995-3003.
[9] Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sens Environ*, 2002, 79: 213-224.
[10] 于敏,程明虎. 基于NDVI-Ts特征空间的黑龙江省干旱监测. 应用气象学报,2010,21(2):221-228.
[11] Stathopoulou M, Cartalis C. Downscaling AVHRR land surface temperatures for improved surface urban heat island intensity estimation. *Remote Sens Environ*, 2009, 113: 2592-2605.
[12] 申双和,赵小艳,杨沈斌,等. 利用ASTER数据分析南京城

- 市地表温度分布. 应用气象学报, 2009, 20(4): 458-464.
- [13] Wang K C, Li Z Q, Cribb M. Estimation of evaporative fraction from a combination of day and night land surface temperatures and NDVI: A new method to determine the Priestley-Taylor parameter. *Remote Sens Environ*, 2006, 102: 293-305.
- [14] 吴晓, 陈维英. 利用 FY-1D 极轨气象卫星分裂窗区通道计算陆表温度. 应用气象学报, 2005, 16(1): 45-53.
- [15] Wan Z, Zhang Y, Zhang Q, et al. Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature. *Int J Remote Sens*, 2004, 25: 261-274.
- [16] Wang K C, Liang S L. Evaluation of ASTER and MODIS land surface temperature and emissivity products using long-term surface longwave radiation observations at SURFARD sites. *Remote Sens Environ*, 2009, 113: 1556-1565.
- [17] 《中华人民共和国气候图集》编委会. 中华人民共和国气候图集. 北京: 气象出版社, 2002.
- [18] 赵卫权, 苏维词, 袁俊. 基于地形起伏度的贵州省景观空间格局分异特征. 水土保持研究, 2010, 17(2): 105-110.

Regional Representativeness Analysis of National Reference Climatological Stations Based on MODIS/LST Product

Wang Yuanyuan Li Guicai Zhang Yan

(Key Laboratory of Radiometric Calibration and Validation for Environmental Satellites, National Satellite Meteorological Center, China Meteorological Administration (LRCVES/CMA), Beijing 100081)

Abstract

Observations of reference climatological stations plays an important role in climate change research and disaster warning, which requires the stations to be representative enough for their surroundings. Furthermore, representativeness is important in optimizing meteorological observation network and selecting locations for new meteorological stations. However, researches on meteorological stations representativeness are still limited, especially from regional point of view.

A new method to quantify reference climatological stations representativeness based on remote sensing data is proposed. The representativeness of a reference climatological station is measured using its explained variances for the LST (land surface temperature) anomaly series extracted from different sizes of windows centered on that station. MODIS/LST products (MOD11A2, 1 km spatial resolution) from 2001 to 2007 are used. MOD11A2 is 8-day average composite of MODIS daily LST product (MOD11_L2) which is produced using split-window algorithm. The product accuracy is better than 1 km according to previous validation, providing quality guarantee. The selected window size ranges from $3 \times 3 \text{ km}^2$ to $51 \times 51 \text{ km}^2$, with a step of 2 km. For each window size, explained variances of all the 142 national reference climatological stations are calculated. Through investigating the trend of explained variances with window size increments, a threshold is selected, according to which the maximum area a station can represent is determined. When 0.75 is set as the threshold, about 41% stations have good representativeness, representing areas larger than $51 \times 51 \text{ km}^2$ which are mainly located in the north regions. About 21% stations have low representativeness, representing areas less than $7 \times 7 \text{ km}^2$ that mainly located in the south regions. Other stations with moderate representativeness are found to distribute in both north and south regions. In order to explore the factors influencing representativeness, two indices are defined. One is land cover diversity based on Shannon-Weiner index formula and retrieved from MODIS land cover product. The other one is terrain undulation, which is defined as the difference between the maximum and minimum elevation and retrieved from DEM data. It is found that as far as all reference climatological stations are concerned, land

cover diversity and terrain undulation are negatively correlated with representativeness, and when window size increases this correlation strengthens accordingly. Land cover diversity has greater impacts on representativeness than terrain undulation. Using land cover diversity and terrain undulation as independent variables, linear regressions can model representativeness pattern of most stations very well. For several stations whose representativeness cannot be explained well, fast urban expansion maybe an important factor, which needs further research. Finally, the representativeness for climate zone to which a station belongs is also studied. The results reveal that in areas featured with complicated climate, such as southwest region and part of Xinjiang, the representativeness of reference climatological stations are low, suggesting more meteorological stations are needed.

Key words: reference climatological station; representativeness; MODIS/LST product

《应用气象学报》征稿简则

《应用气象学报》(双月刊)是大气科学理论与应用研究的综合性学术期刊,主要刊登反映新理论与新技术在大气科学中的应用,以及大气科学理论与实践相结合,应用于各个有关领域的研究论文、业务系统和研究简报;国内外大气科学与应用气象科学发展中的新动态与新问题的探讨与评论;国内外重要学术会议或研究、业务活动的报道;气象书刊评介。

投稿要求和注意事项:

1. 论点明确、文字精炼。摘要请按文摘四要素(目的、方法、结果、结论)撰写,列出3~8个关键词,作者姓名请附汉语拼音,所在单位请附中、英文全名、地名、邮编。要求中文摘要为200~400字,英文摘要为500个单词左右(并请附对应的中文译文)。

2. 插图请插入文中适当位置,要求准确、清晰、美观。图中物理量、单位请勿遗漏,中、英文图题及说明写在插图下面。表格请采用三线表形式,并列出中、英文表题,文字须端正和清晰。

3. 参考文献请择主要的列入,并请按文中引用顺序标号。期刊书写格式:作者. 文章题目. 刊名, 年, 卷(期): 起止页. 专著书写格式: 作者. 书名. 译编者. 出版地: 出版社, 出版年: 起止页。

4. 计量单位请按《中华人民共和国法定计量单位》列出,已废止的单位请换算成法定计量单位。

5. 科技术语和名词请使用全国自然科学名词审定委员会公布的名词。外国人名和地名,除常用者外请注原文。

6. 网上投稿(<http://qk.cams.cma.gov.cn>)请同时寄送全体作者签名的《承诺书》(请网上自行下载)。稿件自收到之日起,将在6个月内决定刊用与否,来稿一经刊登,酌情收取版面费,并酌付稿酬,请自留底稿,不登者恕不退还。

7. 文中的数字及符号必须清楚无误,易混淆的外文字母、符号,请标注文种,大、小写,正、斜体,黑、白体,公式中的上、下标。

8. 本刊已加入“中国学术期刊(光盘版)”、“万方数据——数字化期刊群”和“中文科技期刊数据库”。本刊所付稿酬包含光盘稿酬和刊物内容上网服务报酬。凡向本刊投稿的作者(除事先声明外),本刊视为同意将其稿件纳入此两种版本进行交流。

欢迎投稿。投稿请登录 qk.cams.cma.gov.cn。

地址:中国气象科学研究院《应用气象学报》编辑部,邮政编码:100081;电话:(010)68407086,68408638;网址:qk.cams.cma.gov.cn; E-mail:yyqxxb@cams.cma.gov.cn, yyqxxb@163.com。