

引用格式:Liu Chenchen, Cao Guangzhen, Zhang Mingwei, *et al.* Influence of Temporal and Uariability on Estimation of Air Temperatures from MODIS Land Surface Temperatures[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2013, 28(5): 831-835. [刘晨晨, 曹广真, 张明伟, 等. 时空尺度对利用 MODIS 地表温度估算空气温度的影响研究[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(5): 831-835.]

时空尺度对利用 MODIS 地表温度估算 空气温度的影响研究

刘晨晨¹, 曹广真², 张明伟², 牛新赞¹, 许文波¹, 范锦龙²

(1. 电子科技大学资源与环境学院, 四川 成都 611731; 2. 国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘要:重点研究不同时间空间尺度对 MODIS 地表温度(MODIS LST)与地面气温相关关系的影响,以寻找最优时间空间尺度来提高 MODIS 估算地面气温的精度。选用宁夏回族自治区 2000~2010 年 MODIS 地表温度产品 MOD11A1 和 MYD11A1 以及宁夏 10 个气象站点常规气温数据,研究了不同时间和 1×1 、 3×3 、 5×5 、 7×7 、 9×9 窗口对 MODIS LST 与站点气温线性相关关系的影响。研究表明:增大空间尺度可显著增加窗口有效数据量,但 MODIS 地表温度与地面气温的相关性反而降低;MODIS 地表温度与气象站点实测平均气温、最高气温相关性受时间影响不大,而当日 MODIS LST 与气象站点次日最低气温相关性明显高于当日。

关 键 词:MODIS;地表温度;空气温度;尺度分析

中图分类号:TP 407;TP 79 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2013)05-0831-05

1 引 言

近地面空气温度是地表能量平衡中的一个重要参数,在应用气象学、气候变化、地表能量平衡、环境监测与评价以及灾害监测、人类疾病和健康研究中具有重要的意义。目前,大部分地面气温资料是在气象站点实地测量获得的。常规地面温度资料的使用存在一些局限性:①大部分气象站点分布在城市区域,对于精确的气候研究,气象站点分布缺乏足够的空间密度,所测温度不能代表各种环境状态在所有空间下的实际温度^[1-2];②空间插值算法可能带来较大误差。一些研究已经证明,目前存在的空间插值方法可以成功估算气象站附近的温度,但却无法确保远离站点处的插值精度^[3];③气象站实测温度数据不能被大众实时获取。

为了克服上述不足,一些学者探索利用遥感技术获取地面气温。如利用 NOAA AVHRR 和 MO-

DIS 遥感数据估算地面气温分析的方法。利用卫星信息求解近地面空气温度包括两步^[4]:①传感器的热红外波段反演地表温度(LST);②利用地表温度估算气温。根据所使用的波段,热红外遥感数据地表温度反演算法可以分为单通道算法、分裂窗算法和多波段算法。常用的由 LST 估算气温的方法有温度-植被指数法(Thermal-Vegetation Index, TVX)和统计分析法。Vancutsem 等^[5]利用非洲地区 MODIS 8 d 地表温度产品 MYD11A2、MOD11A2 和日地表温度产品 MYD11A1,对站点所在像素窗口提取的 LST 温度值进行统计分析,估算气温平均绝对误差为 $1.73\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。Vogt 等^[6]从 148 幅 AVHRR 影像上提取了气象站周围 3×3 窗口像素平均地表温度,并与 31 个站点的最高气温进行相关性分析,相关系数达到 0.907。Mostovoy 等^[7]利用 2000~2004 年 MODIS LST 估算密西西比地区的最低气温,标准差介于

收稿日期:2012-08-08;修订日期:2013-07-24

基金项目:公益性行业(气象)科研专项“中国北方果树霜冻灾害防御关键技术研究”(GYHY201206049)。

作者简介:刘晨晨(1988—),女,山东泰安人,硕士研究生,主要从事环境遥感地表温度反演研究。E-mail:chen0224@126.com。

通讯作者:范锦龙(1975—),男,山西偏关人,副研究员,主要从事地球观测研究。E-mail:fanjl@cma.gov.cn。

0.97~2.07℃之间,其估算的日最低气温与地面观测空间插值的结果相比,不仅具有更高的精确度,而且拥有更详细的空间信息。

MODIS 以其多波段、大尺度、高质量和数据免费等优点为近地面气温的精确估算提供了广泛的数据资源。然而,MODIS LST 数据只有在晴空条件下才存在反演数据,才能与气象站的数据相匹配。并且 LST 卫星观测时间与站点气温观测时间不一致,这些都可能在一定程度上影响地表温度与气温的相关关系。大多数研究在利用卫星数据估算气温时往往利用站点所在像素当天地表温度数据与当天气温数据进行分析,而忽略了时间和空间尺度对估算精度的影响。为了研究时间和空间尺度对 LST 与气温相关关系的影响,本文选取宁夏回族自治区 2000~2010 年 MODIS LST 产品,以气象站获取的日平均气温、日最高气温、日最低气温及卫星观测时间等气象资料为研究对象,利用线性回归方法评价和分析不同时间和空间尺度提取的 LST 与站点实测气温之间的相关关系,探讨了时间空间尺度对其相关关系的影响。

2 数据源

2.1 气象站点数据

本文从中国气象科学数据共享网站(<http://cdc.cma.gov.cn>)获取了宁夏回族自治区(35°14′~39°23′N,104°17′~107°39′E)10 个常规气象站 2000~2010 年常规气温数据(包括日平均气温、日最高气温和日最低气温)和站点地面观测场所在经纬度信息。本文所用常规气温数据气象站点位于海拔 1 101.6~1 916.5 m 之间。站点分布如图 1 所示。

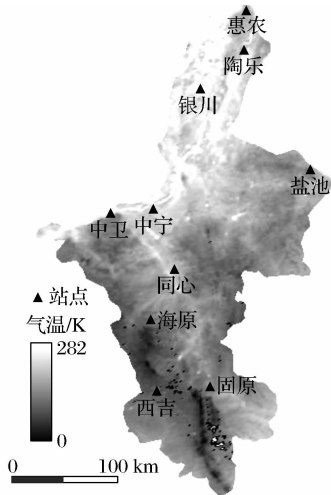


图 1 气象站点分布图
Fig. 1 Station distribution

2.2 遥感数据

本文收集了宁夏回族自治区 2000~2010 全年 Terra 和 2002~2010 全年 Aqua 分辨率为 926.6 m 第五版地表温度产品 MOD11A1 和 MYD11A1。Terra、Aqua 观测时间分别为当地时间 10:30 和 13:30。MODIS 地表温度产品利用广义分裂窗 LST 算法^[8]和昼/夜 LST 算法^[9]反演得到。MODIS 地表温度产品从下载。

3 研究方法

3.1 数据预处理

根据宁夏回族自治区 10 个气象站地面观测场所在经纬度、图像投影和分辨率等信息计算图像站点所在行列号,提取宁夏 10 个站点像素和以 <http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/> 站点像素为中心不同窗口下的 MODIS LST 数据,并以所在窗口 LST 平均温度为该站点最终 LST。提取 MODIS LST 数据流程如图 2 所示。

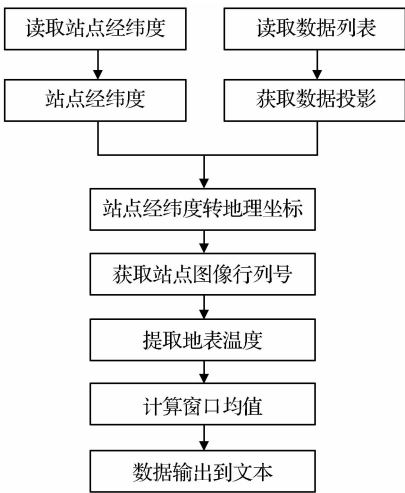


图 2 LST 数据提取流程图
Fig. 2 LST data extraction flowchart

3.2 线性回归分析

将窗口提取 MODIS LST 数据与常规最高气温、最低气温、平均气温进行线性回归分析,研究两者之间的线性相关关系。

4 结果与分析

4.1 相关分析

宁夏回族自治区 MODIS LST 与站点实测气温的相关系数如图 3 所示。图中 Aqua 白天、Aqua 夜晚、Terra 白天、Terra 夜晚分别代表 Aqua、Terra 卫星白天、夜晚的 LST 数据。

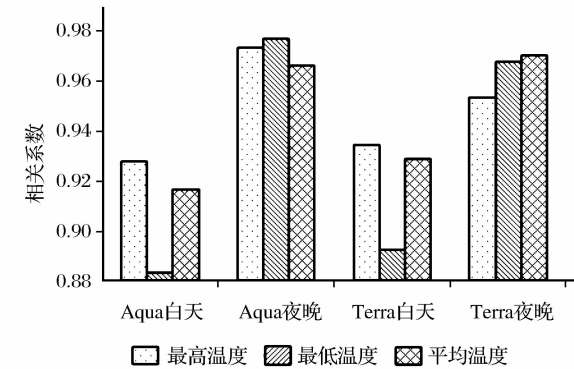


图 3 LST 与气温线性相关系数

Fig. 3 Linear correlation coefficients between LST and air temperatures

由图 3 可以看出 MODIS 地表温度产品与气象站实测气温具有较好的相关性,LST 与最高、最低、平均气温相关性均高达 0.9732、0.9767、0.9702。说明利用 MODIS 地表温度产品估算气温的方法可行。太阳辐射到达地面后,一部分被反射,一部分被地面吸收,使地面增热,对地面的温度进行测量后得到的温度就是地表温度。太阳的热能被地面吸收后,地面再通过辐射、传导和对流把热传给空气,这是空气中热量的主要来源。而太阳辐射直接被大气吸收的部分使空气增热的作用极小,只能使气温升高 0.015~0.02℃。所以,一般情况下地表温度都会高于气温。图 3 夜晚地表温度数据与气温的相关性普遍高于白天地表温度,这与夜晚太阳辐射对地表温度的反演的影响有关。

4.2 时间尺度分析

根据《地面气象观测规范》规定,气象站每日分别于北京时间 2 点、8 点、14 点、20 点时分 4 次定时记录温度数据,20 时观测最高、最低温度。而根据卫星的设计,Aqua 和 Terra 白天分别于当地当日 14:00 和 10:00 过境,夜晚分别于次日 2:00 和当日 22:00 过境。考虑到这个时间差,本文利用宁夏 10 个站点当日所测最高、最低、平均温度分别与对应日期时间的 MODIS 地表温度数据进行统计分析。所得线性相关系数如表 1 所示。

表 1 LST 与气温相关系数表

Table 1 Correlation coefficient between LST and air temperatures

	最高气温	最低气温	平均气温
Aqua 白天	0.9277	0.8578	0.9164
Aqua 夜晚	0.9472	0.9767	0.9672
Terra 白天	0.9341	0.8744	0.9284
Terra 夜晚	0.9533	0.9673	0.9702

表 1 中,加粗数据均为气温与前一日地表温度相关系数。最高气温与白天地表温度相关性普遍大于最低温度;而最低气温与夜晚地表温度相关性明显优于最高温度。说明利用 MODIS 地表温度估算最低温度时最好选择夜晚数据,而估算最高温度时最好选择白天数据。一天内最高温度一般发生在 14:00,最低温度一般发生在凌晨 4:00。理论上卫星过境时间与最高最低温度获取时间越相近,相关性应越好。表 1 中 Aqua 夜晚地表温度与最低气温相关系数明显大于 Terra 夜晚地表温度,与理论估计相符。

4.3 空间尺度分析

10 个站点 Terra(2000~2010 年)理论数据应有 401 800 条,Aqua(2002~2010 年)应有 328 700 条。由于云等其他原因造成 MODIS 地表温度产品缺失,从而使站点实际提取有效数据量远远小于理论数据量。为了研究提取窗口大小对有效数据量的影响,本文以 1×1 窗口为基准,列出各窗口有效数据量比 1×1 窗口增加数据比例,如表 2 所示。

表 2 MODIS LST 数据在不同窗口有效数据比例

Table 2 The available ratio of the MODIS LST data

	1×1	3×3	5×5	7×7	9×9
Aqua 白天	1.00	1.18	1.26	1.33	1.38
Aqua 夜晚	1.00	1.38	1.47	1.54	1.60
Terra 白天	1.00	1.22	1.32	1.39	1.45
Terra 夜晚	1.00	1.15	1.24	1.31	1.37

由表 2 可以看出,增大 MODIS LST 提取窗口可增加窗口内有效数据量。当窗口增加到 3×3 像素窗口时,有效数据量比单像素窗口有效数据量显著增加,最大增幅可达到 0.38。当窗口扩大到 9×9 时,有效数据比单像素窗口下有效数据增加近 1/2。与此同时,窗口的增加使得 LST 计算范围增大,可能会造成差异点的增加。为了研究提取窗口对 LST 与气温相关关系的影响,下面将分别讨论不同窗口下 MODIS LST 与最低、最高、平均气温的相关关系。

以站点像素为中心周围 3×3、5×5、7×7 和 9×9 窗口提取的 MODIS LST 为自变量,站点最低、最高、平均气温为因变量,研究空间尺度变化对其相关关系的影响,结果如图 4~6 所示。气象站最高、平均气温均选取当日气象站测量数据,最低气温选取次日气象站测量数据。

由图 4~6(a)可以看出,各窗口提取的 LST 与站点气温均有较好的相关性,相关系数均可达到 0.88。MODIS 夜晚 LST 与气温相关性均明显高于白天。随着窗口的增大,LST 与气温相关关系均减弱。具体

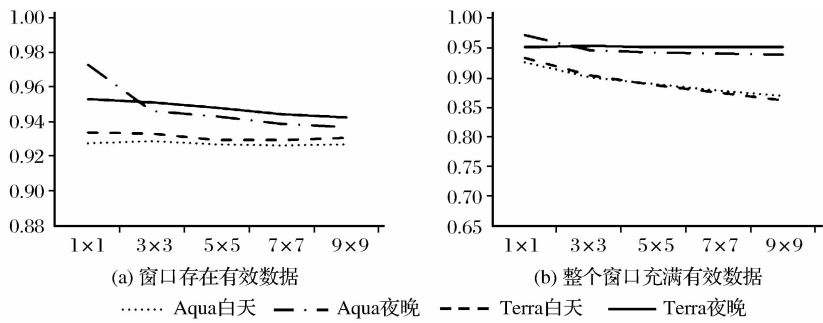


图 4 不同窗口地表温度与最高温度相关系数
Fig. 4 The correlation coefficient of LST and maximum temperatures

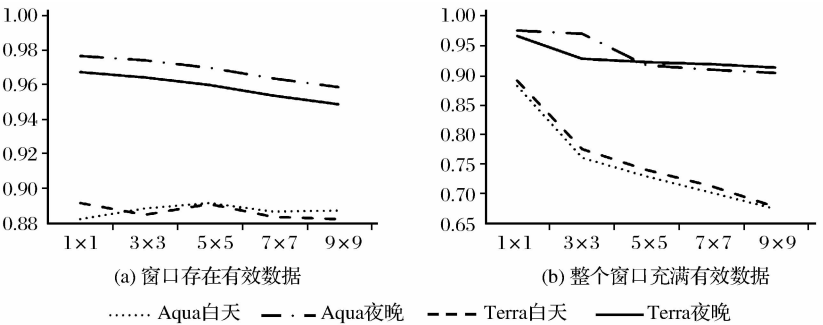


图 5 不同窗口地表温度与最低温度相关系数
Fig. 5 The correlation coefficient of LST and minimum temperatures

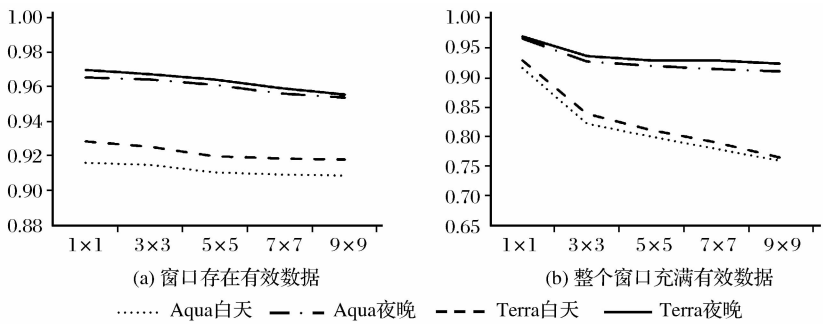


图 6 不同窗口地表温度与平均温度相关系数
Fig. 6 The correlation coefficient of LST and mean temperatures

表现为:窗口由 1×1 增加到 9×9 , Aqua、Terra 白天与最高气温相关系数基本不变,降幅控制在 0.003 之内; Aqua 白天、Terra 白天、Aqua 夜晚与平均气温, Terra 白天与最低气温, Terra 夜晚与最高气温相关系数小幅度降低,降幅约为 0.01; Aqua、Terra 夜晚与最低气温相关系数稍大幅度降低,降幅约为 0.02; Aqua 夜晚与最高气温相关系数显著降低,降幅达到 0.04。同时本文在整个大窗口都充满有效数据的前提下重新分析了不同窗口大小引起相关系数的变化,如图 4~6(b),所得结果与上述结论类似。

5 结 语

为了研究时间、空间尺度对 MODIS 地表温度与

地面气温相关关系的影响,本文选用宁夏回族自治区 2000~2010 年 MODIS 地表温度产品 MOD11A1、MYD11A1 以及宁夏 10 个站点常规地面观测气温,研究了不同时间和 1×1 、 3×3 、 5×5 、 7×7 和 9×9 窗口对 LST 与气温线性相关关系的影响,结论如下:

(1)MODIS 地表温度与地面气温具有较好的相关性,LST 与平均、最高、最低气温相关系数均高于 0.88。LST 与最高、最低、平均气温相关性可高达 0.9732、0.9767、0.9702。说明利用 MODIS 地表温度产品估算气温的方法可行。夜晚地表温度数据与气温的相关性普遍高于白天地表温度。

(2)最高气温与白天地表温度相关性普遍高于最低气温;而最低气温与夜晚地表温度相关性明显

高于最高温度。说明利用 MODIS 地表温度估算最低气温时最好选择夜晚数据,而估算最高气温时最好选择白天数据。Aqua 夜晚地表温度与最低气温的相关系数明显大于 Terra 夜晚地表温度,这与两者观测时间差异有关。

(3)增大空间尺度可显著增加窗口有效数据量,但 MODIS 地表温度与地面气温的相关性随着提取尺度的增加而降低。

参考文献(References):

- [1] Prihodko L, Goward S N. Estimation of Air Temperature from Remotely Sensed Surface Observations[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 60(3): 335-346.
- [2] Stisen S, Sandholt I, Norgaard A, *et al.* Estimation of Diurnal Air Temperature Using MSG SEVIRI Data in West Africa[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 110(2): 262-274.
- [3] Florio E N, Lele S R, Chang Y C, *et al.* Integrating AVHRR Satellite Data and NOAA Ground Observations to Predict Surface Air Temperature: A Statistical Approach[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, 25(15): 2979-2994.
- [4] Liu Chaoshun, Qu Peiqing, Shi Runhe, *et al.* The Evaluation of

MODIS Data and Geographic Data for Estimating Near Surface Air Temperature[J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2011, (4): 78-82. [刘朝顺, 曲培青, 施润和等. 基于 MODIS 地表参数产品和地理数据的近地层气温估算方法评价—以安徽省为例[J]. *国土资源遥感*, 2011, (4): 78-82.]

- [5] Vancutsem C, Ceccato P, Dink T, *et al.* Evaluation of MODIS Land Surface Temperature Data to Estimate Air Temperature in Different Ecosystems over Africa[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 114(2): 449-465.
- [6] Vogt J, Viau A A, Paquet F. Mapping Regional Air Temperature Fields Using Satellite Derived Surface Skin Temperatures[J]. *International Journal of Climatology*, 1997, 17(14): 1559-1579.
- [7] Mostovoy G V, King R L, Reddy K, *et al.* Statistical Estimation of Daily Maximum and Minimum Air Temperatures from MODIS LST Data over the State of Mississippi[J]. *GIScience & Remote Sensing*, 2006, 43(1): 78-110.
- [8] Wan Z M, Dozier J. A Generalized Split-window Algorithm for Retrieving Land-surface Temperature from Space[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1996, 34(4): 892-905.
- [9] Wan Z M, Li Z L. A Physics-based Algorithm for Retrieving Land-surface Emissivity and Temperature from EOS/MODIS Data[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1997, 35(4): 980-996.

Influence of Temporal and Spatial Variability on Estimation of Air Temperatures from MODIS Land Surface Temperatures

Liu Chenchen¹, Cao Guangzhen², Zhang Mingwei²,
Niu Xinzan¹, Xu Wenbo¹, Fan Jinlong²

(1. *University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China;*

2. *National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, China)*

Abstract: A method to obtain air temperature by the remote sensing technology was discussed in this paper. Linear dependence relations between MODIS land surface temperature and minimum temperature, maximum temperature and mean temperature were explored in Ningxia Autonomous Region. In order to improve the accuracy of air temperature estimated from MODIS land surface temperature, the influence of time and space to correlation coefficients were discussed. Ten meteorological stations in Ningxia Autonomous Region were used. Remote sensing data including MOD11A1 and MYD11A1 and common meteorological temperature data during 2000~2010 were used for the linear correlation analysis. Correlation coefficients in $1\times 1, 3\times 3, 5\times 5, 7\times 7, 9\times 9$ windows centered the station locations were compared. Studies have shown that linear dependence relations between MODIS land surface temperature and minimum temperature, maximum temperature and mean temperature were good enough to estimate air temperature. Correlation coefficient between maximum temperature and surface temperature was generally greater than minimum temperature. Correlations between minimum temperature and night surface temperature were better than maximum temperature. Moreover, correlation coefficient between Aqua night surface temperature and minimum temperature was greater than Terra due to the difference of the observing time. Linear dependence relations became worse no matter whether the entire windows were filled with the valid data, though effective data increased with the enlargement of extract windows.

Key words: MODIS; Land surface temperature; Air temperature; Scale analysis