

# 高分辨红外辐射探测器地表温度数据 在江苏地区 1980—2009 年间适用性评估

史 潇<sup>1,2,3</sup>, 王国杰<sup>3</sup>, 孙 明<sup>2</sup>, 李玉涛<sup>1,4</sup>, 王博妮<sup>1,2</sup>, 沈 婕<sup>5</sup>

- (1. 中国气象局交通气象重点开放实验室, 南京 210008; 2. 江苏省气象服务中心, 南京 210008;  
3. 南京信息工程大学地理科学学院/气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 南京 210044;  
4. 江苏省气象信息中心, 南京 210008; 5. 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210023)

**摘 要:**地表温度在物理和生物过程中起着关键作用,也是评价地表热环境的重要指标。因此,了解地表温度时空变化对城市热岛监测及生态质量的评价具有重要意义。高分辨红外辐射探测器地表温度(HIRS LST)是目前时间尺度最长的全球逐小时地温数据集。为了解江苏省地表温度的时空分布情况并研究HIRS LST数据在江苏的适用性,论文选择江苏省1980—2009年49个站点的实测地表温度数据,利用相关系数、偏差、非偏性均方根误差等方法,对HIRS产品从多角度进行了验证。结果表明,HIRS地表温度与站点地表温度数据有较好的一致性。两者相关系数在整个区域都高于0.98,2种数据的距平相关系数在0.65~0.80之间。两者偏差和非偏性均方根误差表明,HIRS的数据在江苏北部和南部部分地区低估了地表温度,主要原因是其对高于32℃的地温事件发生次数存在较大程度的低估。然而,HIRS LST在很大程度上高估了在20~30℃之间的较高温日数。在年际变化方面,HIRS LST与观测数据在春季的相关性最高,冬季最低。趋势检验表明,2种数据在春、秋、冬3个季节均呈现出明显的增长趋势,增温趋势呈现出相似的空间变化。但是,该地区夏季的地表温度长期趋势被明显高估,HIRS数据并未反映出该地区北部大面积的降温趋势,而在其他季节的地表温度被低估。

**关键词:**地表温度;遥感;HIRS;卫星产品验证;趋势分析;江苏省

地表温度(Land Surface Temperature, LST)指的是地球下垫面的热动力温度,被认为是物理过程最关键的参数,并且在陆面—大气的水循环和能量循环中扮演重要角色<sup>[1-3]</sup>。另外,地表温度对于作物、植物的生物、化学过程也起着重要作用。地表温度的变化能够改变地面与大气之间物质与能量平衡,导致蒸散发、气温、降水和植被等发生变化,进而对区域生态环境的保护与演变产生重要影响<sup>[4-7]</sup>。

随着城市化进展的快速推进,城市群已成为区域空间的重要组织形式<sup>[8]</sup>,城市的气候和生态环境也在不断变化。越来越多的学者对城市热岛现象

进行了关注与研究<sup>[9-14]</sup>,而目前常见的是基于地表温度(LST)的地表城市热岛(Surface Urban Heat Island, SUHI)分析。因此,目前迫切需要一套时间序列较长、数据完整、精度较高的高时空分辨率的地表温度产品。常见的地表温度的测量主要是基于站点观测,通过铂电阻地温传感器对地表温度进行测量,时间分辨率较高,可实现对站点地表温度的实时监测,但在实际应用中,无论是天气预报还是干旱监测都需要大范围的地表温度信息,地面测量难以满足需要,故带有热红外传感器的卫星被广泛用于地表温度反演<sup>[15-16]</sup>。其中,Landsat 5搭载的

收稿日期:2019-06-25;修订日期:2019-11-22。

基金项目:江苏省气象局重点项目(KZ201902);江苏省气象局青年科研基金项目(KQ201907);江苏省气象局面上科研项目(KZ201906)。[Foundation: Key Project of Jiangsu Province Meteorological Bureau Foundation, No. KZ201902; Jiangsu Province Meteorological Bureau Foundation for the Youth, No. KQ201907; Jiangsu Province Meteorological Bureau General Foundation, No. KZ201906.]

第一作者简介:史潇(1989—),女,江苏南京人,博士生,主要从事卫星遥感在陆表因子方面的应用研究。

E-mail: 18801580429@163.com

引用格式:史潇,王国杰,孙明,等.高分辨红外辐射探测器地表温度数据在江苏地区1980—2009年间适用性评估[J].地理科学进展,2020,39(8):1283-1295. [Shi Xiao, Wang Guojie, Sun Ming, et al. Evaluation of the long-term high-resolution infrared radiation sounder land surface temperature during 1980—2009 in Jiangsu Province, China. Progress in Geography, 2020, 39(8): 1283-1295.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2020.08.004

TM/ETM+是目前在轨运行时间最长的光学极轨卫星(1984—2011年),可获取较长时间序列的地表温度数据且空间分辨率较高,但其重返周期较长,导致其有效数据覆盖率严重受限。相较于静止卫星热红外传感器而言,极轨卫星 Terra 上的 MODIS 传感器(1999年至今)具有较高的空间分辨率,但其时间分辨率仍较低(每天2次)。另外,红外波段易受天气条件、植被等影响,导致数据缺少或数据质量不能满足要求<sup>[17-18]</sup>。因此,对于全球地表温度数据的时间积累仍较少,当前的地表温度数据不能满足气候分析、天气预报以及生态环境评价等方面应用对长时间序列数据的需求,限制了地表温度数据在全球温度变化领域定量应用的拓展<sup>[19-20]</sup>。如何利用多源卫星生成长时间序列的全球高时空分辨率的连续地表温度数据集成为科学家密切关注的问题。

高分辨红外辐射探测器地表温度(High-Resolution Infrared Radiation Sounder land surface temperature, HIRS LST)是一套含有每小时地表温度格点数据的长时间序列的数据集,是通过融合美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP) LST再分析资料和HIRS卫星资料得到的<sup>[21]</sup>。受输入数据NCEP LST再分析资料的时间跨度影响,此套数据的时间跨度是1979—2009年。由于此套数据的较高分辨率、强可利用性、长时间序列等优点对全球气候变化及相关领域的研究都意义重大,其在全球得到广泛应用并受到研究者的青睐。全球能量和水循环交换(Global Energy and Water Exchange, GEWEX)国际计划资料与评估委员会(GDAP)正在使用HIRS传感器反演的观测数据作为其长时间序列目标的关键成分,这意味着下一代的 Surface Radiation Budget (SRB)将使用HIRS LST数据集作为长波辐射数据。GDAP陆面通量计划将利用该数据集预估地表感热<sup>[21]</sup>。但是,HIRS LST数据集在全球地区的数据精度验证工作仍较为缺乏,且由于中国地区地表温度观测数据获取困难,此套资料未有验证,从而适用性未知。另外,在气候变化的情景下,大部分研究更关注气温的趋势变化,而忽略了地表温度的趋势变化,这限制了城市热岛、气候变化等相关研究的开展。

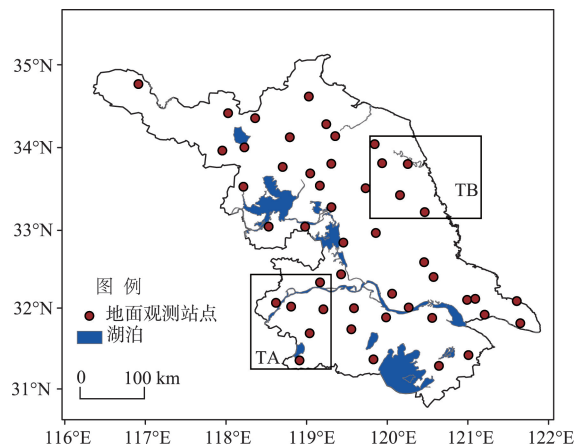
江苏省地处长三角洲城市群,2017年地区生产总值(GDP)为85900.94亿元,占全国总量的10.39%,是中国经济发达、财富和人口高度集中、城

市化水平最高的地区<sup>[22-23]</sup>。全省以南京为中心城市向周围辐射构成多个城市的集合体,以其频繁的人类活动、繁荣的经济、发达的工业对周边区域的发展都起到至关重要的推进作用<sup>[8]</sup>。江苏属于东亚季风区,也是陆面—大气交互最为频繁的地区。夏季雨量充沛且强度较大,也会导致该地区的能量、水汽的频繁交换。因此,在全球变暖及城市热岛效应的情景下,研究江苏地区长时间序列地表温度变化对陆面—大气交互、气候变化、极端事件的影响非常重要。目前,在中国区域对于地表温度研究主要利用 Landsat、MODIS 数据<sup>[9,24]</sup>,但受单颗卫星在轨时间限制,并未有利用卫星数据进行长时间序列的分析。有鉴于此,本文以江苏省为研究区,基于1980—2009年HIRS地表温度数据,结合地面观测数据,采用统计分析、趋势分析等方法,对研究区地表温度与时空演变规律进行研究。这一研究将为认识江苏地区地表温度变化规律、缓解气候变暖情景下的城市热岛效应提供理论基础和科学依据。

## 1 研究区域和资料

### 1.1 研究区域

江苏省(图1)地处长三角洲城市群,介于30°46′~35°07′N、116°22′~121°55′E之间,地势较为平坦。其中南京、苏州、无锡、常州等都为工业较为发达的城市,也是全国生产力布局的重点地区和基本经济区。近10a来江苏工业化、城镇化发展迅速,城镇化面积显著增加并体现出连片发展的趋势<sup>[11]</sup>。江



注:图中矩形区域TA和TB为典型区A和B。

图1 研究区站点及典型区空间分布

Fig.1 Spatial distribution of in situ station and typical areas

苏属于东亚季风气候,夏季高温多雨。以淮河、苏北灌溉总渠一线为界,以北地区属暖温带湿润、半湿润季风气候;以南地区属亚热带湿润季风气候。为更好地分析 HIRS LST 在不同区域的性能差异,选择了 2 个处于不同小气候类型的典型区作进一步研究。典型区 A 属于内陆湿润地区,主要包含南京;典型区 B 属于半湿润地区,毗邻黄海<sup>[25]</sup>。

## 1.2 资料

### 1.2.1 HIRS LST

本文使用的是由普林斯顿大学研发的全球逐小时地温数据集 HIRS LST,时间跨度 1979—2009 年,空间分辨率为  $0.5^\circ$  (<http://hydrology.princeton.edu/data.lst.php>)。该数据集是将 NCEP CFSR 再分析数据的地表温度再分析资料与 HIRS 仪器反演的地表温度数据融合得到的(后文简称为 HIRS LST)<sup>[21]</sup>。HIRS 反演资料来源于 NOAA 系列卫星的不同时期的 11 颗卫星,分别是 NOAA-6 至 NOAA-17;其中由于 NOAA-13 只能在无云条件下才能获取有效数据,并未考虑在 HIRS 数据集中。HIRS LST 是通过贝叶斯后处理方法将 HIRS 反演的 LST 与再分析资料融合,从而实现长时间序列的无缝隙覆盖。关于该数据集的具体融合方法可参考[21]。数据集的温度单位为 K,精度为 1 K,为了方便与站点观测资料比较,本文已将 HIRS LST 温度单位统一转换为  $^\circ\text{C}$ 。

### 1.2.2 地面观测数据(in-situ)

尽管站点数据是被认为“真值”,但由于其空间覆盖范围有限,考虑到研究区域的空间异质性,很难与网格数据集进行平等的比较。但利用站点数据与 HIRS 的比较能够揭示数据内在特性的相对差异等有用信息。为了与 HIRS LST 数据集的时间跨度一致,本研究选取了江苏省经过质量控制之后的 49 个常规地面气象站 1980—2009 年逐小时地表(0 cm)温度数据(单位为  $^\circ\text{C}$ )。气象站点分布如图 1 所示,站点空间分布较为均匀,数据来源为江苏省气象信息中心。数据测量工具是铂电阻地温传感器<sup>[26-27]</sup>。

此外,文中涉及四季划分为:3—5 月为春季、6—8 月为夏季、9—11 月为秋季、12 月至次年 2 月为冬季。

## 2 研究方法

本文分析在不同时间尺度下 HIRS LST 数据与

站点观测数据之间的相关系数、平均偏差、非偏性均方根误差以验证 2 种数据在时间变化上的一致性。另一方面,对 2 种地温逐日数据通过散点图及频率概率分布图来评估其分布情况及一致性。同时,利用 Mann-Kendall 检验法判断 2 种数据在 30 a 中变化趋势的显著性,并利用 Theil-Sen Median 趋势分析法量化 2 种数据在 30 a 中的变化趋势,检验 HIRS LST 数据刻画地温长时间序列变化的能力。

### 2.1 统计分析方法

使用相关系数( $R$ )、平均偏差(Bias)和非偏性均方根误差(unbiased root mean square difference, ubRMSD)来统计分析 HIRS 地表温度数据和站点观测数据的差异性,评价地表温度的反演精度。相关研究表明,均方根误差不能对误差进行准确评估,有其局限性;而非偏性均方根误差能更好地评估遥感数据与地面观测数据之间的误差范围。设有 2 个变量  $x_1, x_2, \dots, x_n$  和  $y_1, y_2, \dots, y_n$  分别对应江苏地区地面观测地表温度数据时间序列和地表观测站经纬度对应网格的 HIRS 地表温度数据时间序列,其中,  $n$  是时间序列长度,则相关系数计算公式为

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

当相关系数  $R > 0$  时,表示两变量呈正相关;当  $R < 0$  时,表示两变量呈负相关;当  $R = 0$  时,则表示两变量相互独立。

平均偏差(简称偏差)表示为

$$\text{Bias} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i) \quad (2)$$

当  $\text{Bias} > 0$  表示 HIRS 地表温度数据高估了地表温度,而当  $\text{Bias} < 0$  时表示 HIRS 地表温度数据低估了地表温度; $\text{Bias} = 0$  时则表示无偏差。

均方根误差的计算公式为:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \quad (3)$$

非偏性均方根误差的计算公式如下<sup>[28-29]</sup>:

$$\text{ubRMSD} = \sqrt{\text{RMSE}^2 - \text{Bias}^2} \quad (4)$$

### 2.2 线性趋势分析法

本文采用 Theil-Sen 斜率分析法(简称 TS 中值法)<sup>[30]</sup>研究地表温度在 1980—2009 年间的线性变化趋势。它是一种稳健的非参数统计方法,不要求数据服从一定的分布,且对数据异常值不敏感,因

而对时间序列线性变化趋势的估计较为可靠<sup>[31]</sup>。Theil-Sen斜率分析法的算公式为:

$$TS_{\text{slope}} = \text{median} \left( \frac{x_j - x_i}{t_j - t_i} \right) \quad (5)$$

其中: median表示中位数函数;  $x_i$ 和 $x_j$ 分别表示在时刻 $i$ 和时刻 $j$ 对应的地表温度数据;  $t_i$ 、 $t_j$ 为与序列数据对应的时间序列数据, 时间序列长度为 $n$ , 且 $i < j < n$ 。在统计意义上,  $TS_{\text{slope}}$ 是指时间序列每一步长的平均变化量。  $TS_{\text{slope}} > 0$ , 则有上升趋势;  $TS_{\text{slope}} < 0$ , 则有下降趋势;  $TS_{\text{slope}} = 0$ , 表示没有明显变化趋势。该方法已经被广泛应用于地学时间序列的长期变化趋势研究<sup>[32]</sup>。

Mann-Kendall(简称M-K)检测方法一种是用来判断线性趋势的显著性的非参数化方法, 由Mann和Kendall提出<sup>[33-34]</sup>。水文、气象方向常用于分析降水、径流、气温等要素时间序列的趋势变化<sup>[35]</sup>。计算公式可参考Gocic等<sup>[35]</sup>的研究, 在本文中, 显著性水平取 $\alpha = 0.05$ 。

### 3 结果分析

本文通过统计的方法分析HIRS LST与站点观测地表温度数据在日变化、季节变化、年际变化的一致性, 并利用Theil-Sen Median趋势分析和M-K方法对HIRS LST数据与观测数据从长时间序列变化一致性的角度检验两者的季节平均及年际变化趋势的一致性, 最终得到对HIRS LST的综合评估。

#### 3.1 不同时间尺度下时间变化一致性

为直观地了解HIRS LST数据的精度, 本文以观测数据为真值, 对HIRS LST进行相关性分析, 计算误差及非偏性均方根误差以验证该数据对本文研究区的适用性。由于站点数量有限, 只计算站点数据与其对应的邻近格点的HIRS LST数据的一致性。其中平均偏差(Bias)为HIRS LST减去相应的地面实测地表温度的结果。通过对全省49个站点1980—2009年逐日数据与对应HIRS格点LST逐日数据进行相关系数计算, 得到2种数据全省30 a间的日变化一致性的特征。由图2a可以看出, HIRS数据与站点数据的相关系数非常高, 除了一个位于东部沿海的站点(吕泗)相关系数略低之外, 全省相关系数都大于0.95。基于此, 可以得出: 在全江苏范围内, HIRS LST与站点数据的日变化具有非常高的一致性, 能够再现地温的日变化特征。

考虑到地表温度的变化具有强烈的季节性, 去除季节变化的影响, 我们计算了2种日数据距平之间的相关系数, 如图2b所示。与图2a相比, 图中相关系数的数值整体降低一些, 大部分站点由0.95降至0.81左右, 但仍能体现HIRS与站点数据的较强的一致性。同时, 去除季节的影响之后, 能发现更细微的空间差异, 两者相关系数在西南部数值高于东北部, 呈现由西南向东北递减的情况。除了个别站点外, 东部沿海地区及北部内陆地区大部分站点相关系数大于0.7, 西南部、中部地区都大于0.8, 这也说明了HIRS数据本身与站点数据一致性非常高, 且由西南向东北适用性递减。

通过平均偏差的空间分布图可以了解HIRS LST数据与站点观测数据的高估或低估情况。图3a为HIRS LST数据在1980—2009年间的日均值的平均偏差分布。HIRS平均偏差在全省的空间分布较为不均匀, 从 $-1.0 \sim 2$  °C间变化, 大部分地区数值较小, 在 $-1.5 \sim -0.5$  °C之间。全省站点平均的偏差趋近于0, 这可能是由于区域平均造成的抵消, 从而总体数值趋向于0。HIRS数据在连云港、灌云等地区出现较为严重的低估情况, 在 $-0.5 \sim 1.5$  °C之间。高估的情况较常出现在南部, 数值主要在 $0 \sim 0.5$  °C之间, 在南部沿海吕泗、海门等地区出现偏离站点数据较大的情况, 平均偏差在 $0.5 \sim 1.5$  °C之间。这一空间分布现象有可能是由于此类站点所在位置较为临海, 因此受来源于海上的风力影响, 气温波动较大, 从而造成地表温度较为多变<sup>[25]</sup>, 偏差较大。另外, 由于站点观测数据是点数据, 受观测规范限制, 观测场地通常为裸土, 因此并不能代表HIRS LST相应网格的整个覆盖类型, 从而造成一定的误差<sup>[12-13, 36]</sup>。而观测站所属位置通常为城市, 所属地表覆盖类型为建筑用地。因此, 地表的非均匀性带来的温度差异对2种数据在绝对数值的比较方面会有一些误差。而观测数据本身由于仪器的功能、设计等方面, 均会引起一定的误差<sup>[37]</sup>。

而通过HIRS LST与站点日数据的非偏性均方根误差空间分布图(图3b)可以看出, HIRS LST在江苏省的非偏性均方根误差空间分布较为均匀, 且数值均较大, 在 $1.0 \sim 1.9$  °C之间。由于非偏性均方根误差表示的是总体偏离站点数据的程度, 因此可以看出, 虽然HIRS LST在偏差上数值都比较小, 有可能是因为数据之间正负抵消造成总体上数值小, 而真正偏离站点数据的程度仍需要通过均方根误差量

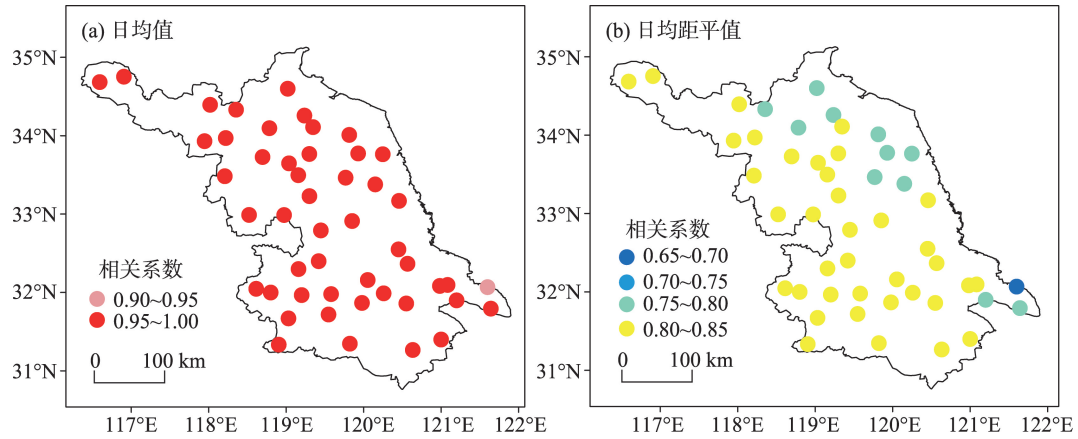


图2 站点观测地表温度数据与HIRS地表温度数据相关系数空间分布

Fig.2 Spatial distribution of the correlation coefficient of daily ground measurements and HIRS LST

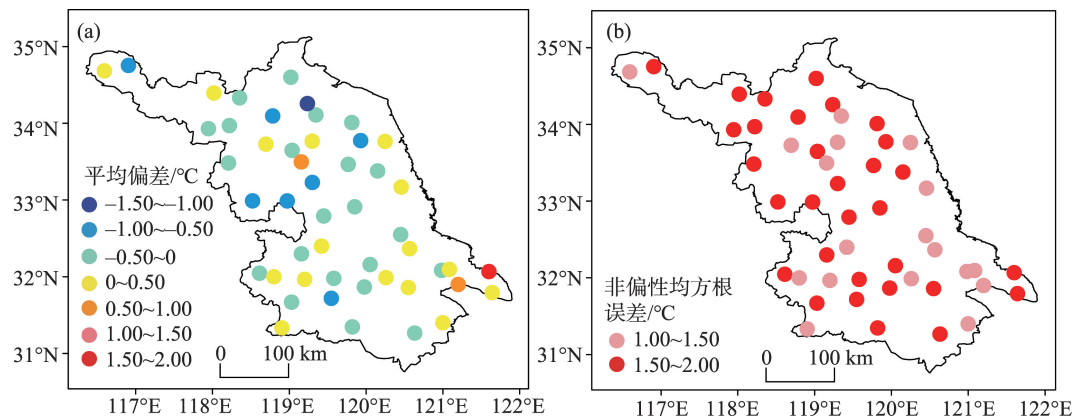


图3 站点观测地表温度数据与HIRS地表温度(a)平均偏差和(b)非偏性均方根误差空间分布

Fig.3 Spatial distribution of bias and unbiased root mean square difference of daily HIRS LST against ground measurements

化。均方根误差较大有可能是由于受云或重返周期影响,造成卫星数据在此处的记录较短,从而造成总体的HIRS LST数据质量较差<sup>[36]</sup>。另外,由于季风带来的降雨可以通过改变蒸散发速率和土壤热特性等方式改变土壤湿度或者雪层情况,从而也会对局地造成不同程度的误差<sup>[38-41]</sup>。同时,地表的非均匀性带来的温度差异也应考虑在内。

图4利用每个站点与对应的HIRS数据30 a年均值计算相应的相关系数、平均偏差、非偏性均方根误差。由图4a可以看出,全省HIRS LST数据与站点观测数据年均值的相关系数虽然呈现较强的正相关关系,但与日均值相比,空间差异较大,呈现南高北低的空间分布。除了宿豫、阜宁、滨海等站点的相关系数在0.65~0.75之间,其余都在0.75~0.90之间。南部除了东部个别站点相关系数较低(为0.76)之外,大部分站点能达到0.8以上。因此,

HIRS LST数据在年尺度变化上与站点数据一致性也较好,并且呈现南部的适用性强于北部的空间差异。HIRS年均值数据与站点的偏差(图4b)几乎与日均值偏差(图3a)空间分布以及数值一样,在江苏主要地区都呈现低估且在南部沿海南通等地区出现偏离站点数据较大的情况。因此可以得出,HIRS LST与站点数据的平均偏差的数值在时间尺度上变化不大。与日均值(图3b)相比,年均值的非偏性均方根误差(图4c)数值整体偏小,主要在0.01~1.50 °C之间,且大多数站点小于1 °C,说明非偏性均方根误差在年尺度上数值更小,HIRS在刻画年变化的时间尺度时表现更好。而空间分布来看,北部的总体偏离程度略高于南部。

为了进一步研究HIRS与站点数据在不同季节的时间分布的一致性和差异性,计算了HIRS与站点观测数据在4个季节相关系数、平均偏差、非偏性

均方根误差(图5)。2种数据在四季都呈现较强的正相关关系,全省大部分站点在四季相关系数大于0.7,说明HIRS与站点数据在四季中一致性都很高。但是,相关系数仍体现了季节差异。数值最高在春季,夏季与秋季其次,冬季最低。空间分布上,相关系数在四季都是南部略高于北部。两者在全省大多数站点春季相关系数都高于0.8,北部有少

数站点相关系数在0.5~0.7之间;夏季全省北部地区的相关系数都降低了一个级别,由原先的0.8~0.9降至0.7~0.8,中部和南部地区基本保持不变。秋季较春季而言,相关系数在北部小幅度上升,大于0.8的站点数量增多,南部小幅下降。在冬季则出现全省范围的相关系数数值下降的情况。南部下降更为严重,整体下降2个级别,南部南通地区甚至出现了

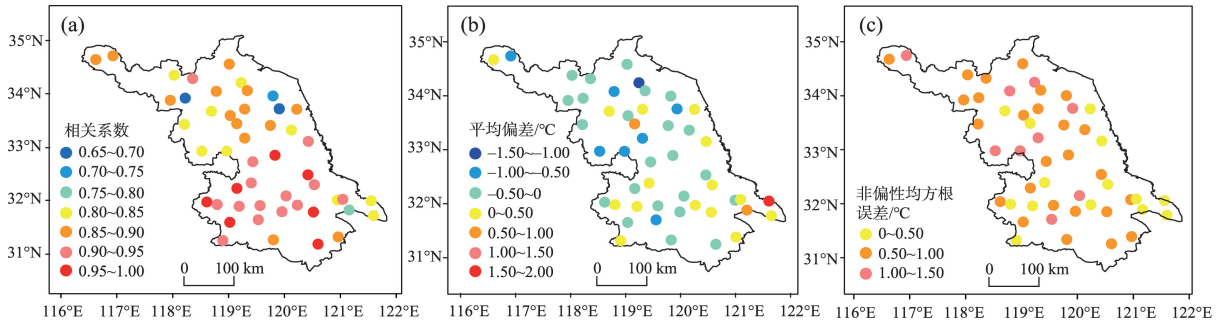


图4 站点观测地表温度数据与HIRS地表温度数据年均相关系数、平均偏差和非偏性均方根误差的空间分布  
Fig.4 Spatial distributions of (a)  $R$ , (b) bias, and (c) unbiased root mean square difference between the HIRS LST and ground measurements, which are computed from annual mean values

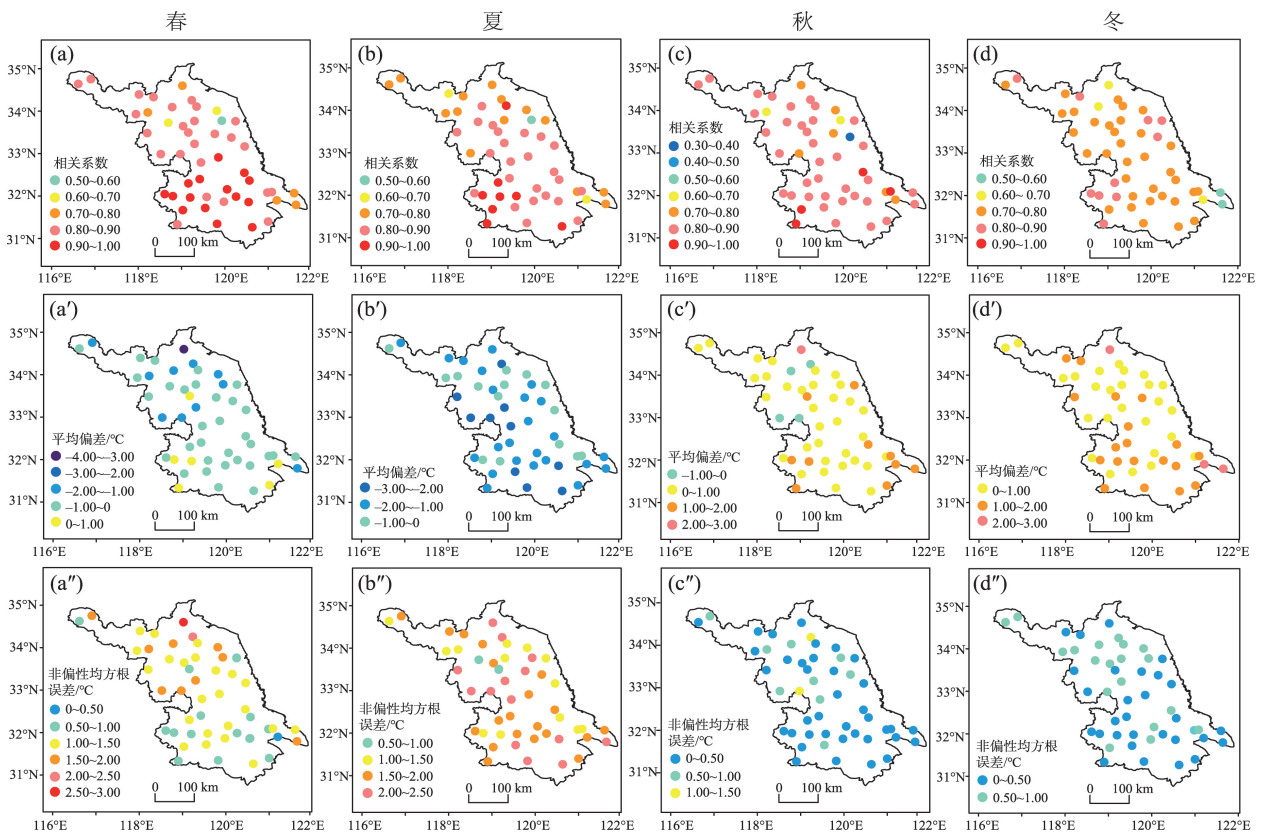


图5 HIRS地表温度数据与站点地表温度观测数据不同季节的相关系数、平均偏差及非偏性均方根误差分布  
Fig.5 Spatial distribution of  $R$  (a-d), bias (a'-d'), and unbiased root mean square difference (a''-d'') between HIRS LST and the ground measurements in different seasons, computed from seasonal mean values of each year

0.5~0.6 的相关系数。总体而言, HIRS LST 数据与站点数据在年际变化上的一致性存在一定的季节变化, 春季一致性较强, 冬季最弱; 并且一致性也呈现空间差异, 南部最强, 北部较弱。通过总体偏差看出, 春季和夏季的性能较为类似, 除个别站点外, HIRS LST 数据在全省范围都是低估了地表温度。夏季的低估情况要差于春季, 整体数值下降一个等级, 因此具有更小的误差且有更多的站点出现数值小于  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  的情况。秋季和冬季类似, 除个别站点外, 全省范围都是高估实际情况, 但冬季高估的情况要强于秋季, 所有区域偏差大于  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。因此, 可以得出, HIRS LST 数据与观测数据的偏差也呈现季节性差异, 在春夏两季呈现 HIRS LST 低估的情况, 在秋冬两季出现高估的情况。HIRS 与站点数据的非偏性均方根误差在秋季最小, 冬季其次, 并且秋冬空间差异不大, 主要都为小于  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。而在夏季最大, 大部分站点出现非偏性均方根误差大于  $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。春季略低于夏季, 北高南低, 夏季则出现颠倒的南高北低的情况。因此, 可以得出, HIRS LST 与站点数据在秋冬偏离程度较小, 表现较好, 春夏偏离程度较差, 表现略差。

### 3.2 典型区域的性能评估

为了更好地分析 HIRS LST 与站点日数据吻合情况以及区域性差异对其性能的影响, 利用两个不同地理位置的典型区域内的站点数据和对应位置的格点 HIRS LST 画出散点图(图 6), 然后对二维散点图进行线性回归得到拟合曲线, 对散点图分别使用相关系数、平均偏差及非偏性均方根误差来定量评价基于 HIRS LST 的精度。通过拟合的斜率可以看出, 典型区 A 的斜率为 0.87, 典型区 B 为 0.91, HIRS LST 数据在典型区 B 的拟合效果更好, 与站点观测数据更为接近。通过计算平均偏差可知, 在典型区 A 主要出现的是高估的情况, 偏高  $0.13\text{ }^{\circ}\text{C}$  左右。而在典型区 B 主要出现低估的情况, 偏低程度约为  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。HIRS LST 数据在 2 个典型区的非偏性均方根误差呈现区域性差异, 在典型区 B 具有更高的 ubRMSD 数值, 因此 HIRS LST 数据在典型区 B 偏离站点观测数据较远。HIRS 与站点数据的相关系数  $R$  在 2 个典型区较为一致, 意味着 2 种数据在 2 个典型区时间变化较为一致。通过这 2 个典型区得出的结论也与图 2~3 一致。分析可知, 典型区 B 处于江苏北部沿海地区, 受来源于海上的大风及热力条件影响, 此处气温温差较大, 而典型区 A 处于江

苏南部内陆地区且受城市化进程影响较大。由前文分析可知, 2 种典型区的性能差异可能是空间、气候、环境等方面的差异性造成的。而作为 HIRS LST 的输入数据, NOAA 卫星 HIRS 反演得到的江苏地区的数据质量也是影响最终 HIRS LST 数据质量的关键。

图 7 为 2 个典型区内 HIRS LST 与站点观测数据 1980—2009 年的日数据的区域平均值的概率密度分布(PDF)图。可以看出, 在典型区 A 内站点观测数据的日均值均呈现“双峰”分布特征, 分别对应着出现最高次数的“低值”(冬季,  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ )和“高值”(夏季,  $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ )。HIRS LST 数据可以很好地再现冬季的 PDF 谷峰, 尽管频率略有降低; 它也再现了夏季的 PDF 峰值, 但是与地面测量值相比, HIRS 峰值大大增强。这一现象意味着在典型区 A 中, HIRS LST 数据明显有更多的范围处于  $20\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$  之间的“高温”日。相应地, 与地面测量结果相比, HIRS LST 数据中高于  $32\text{ }^{\circ}\text{C}$  的极端事件明显减少。在典型区 B 中, 2 种数据的 PDF 都呈现与典型区 A 类似的特性, 但是, 在夏季 HIRS LST 数据的峰值进一步增强, 具有更高的频率。然而, 这并不与平均偏差(Bias)分析相反, 平均偏差分析表明 HIRS LST 数据普遍低估。虽然 HIRS LST 数据夏季的“高温”日较多, 但一般的低估主要是由于其对极端高温事件的低估, 特别是对  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上的极端高温事件的低估。

### 3.3 不同时间尺度下趋势变化的一致性

利用地面观测数据对长时间序列的 HIRS LST 数据的长期趋势进行分析, 了解其对描述气候变暖过程中长期 LST 变化的适用性。线性趋势采用 TS 中值法确定, 5% 水平显著性检验采用 M-K 法。图 8 分别显示了 HIRS LST 和地面观测数据在 1980—2009 年间的线性趋势。

空间上, TS 中值检测结果表明站点观测地表年均温度(图 8a)在全省地区显著增温且增温趋势空间差异较大, 自北向南逐渐增强。北部增温趋势大都低于  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 且个别增温较缓慢的站点(丰县、滨海、阜宁)出现未通过 M-K 显著性检验( $P < 0.05$ )的情况, 说明了这些站点地表温度在 30 a 间的变暖趋势统计上不显著。而南部的 TS 数值几乎都在  $0.5\sim 0.9\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  之间, 扬州(高邮)、南京(溧水)、苏州(吴中、张家港)地区几个站点出现 30 a 增温大于  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $> 0.9\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ )的情况。相比较, HIRS LST 数据增温趋势(图 8b)集中在  $0.4\sim 0.7\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  之间, 虽能呈现南

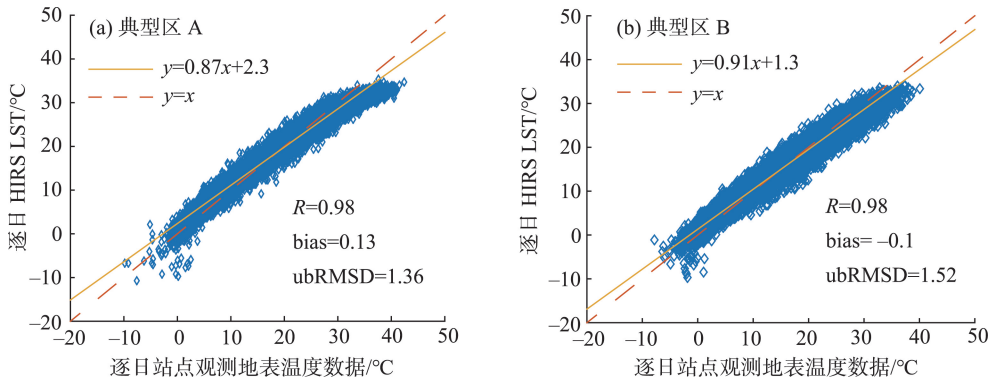


图6 江苏地区站点观测与HIRS地表温度逐日数据对比(1980—2009年)

Fig.6 Scatter plots of HIRS LST against ground measurements in (a) typical area A and (b) typical area B, respectively during 1980-2009

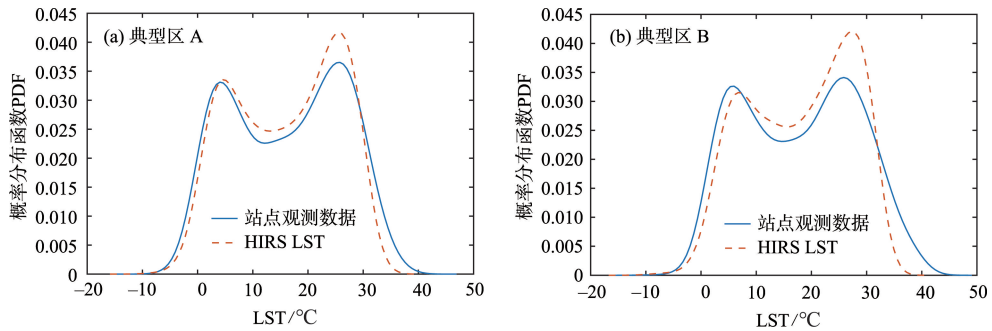
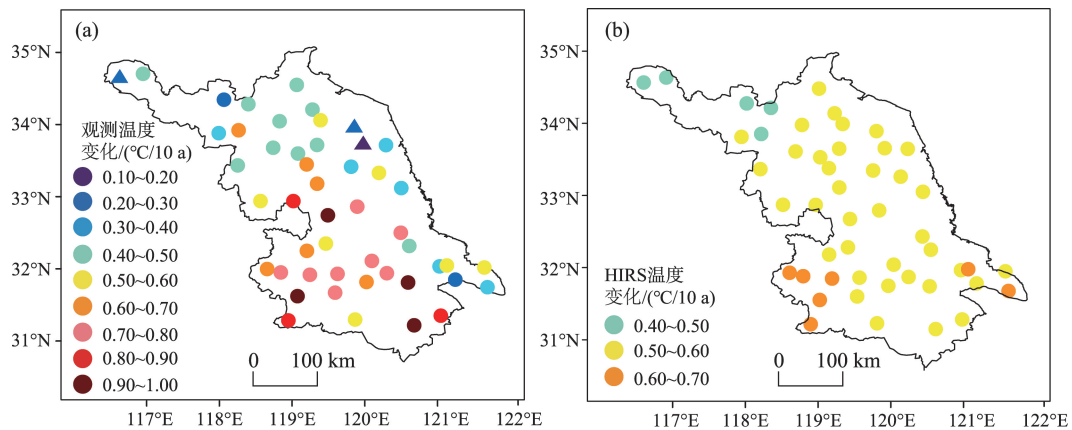


图7 站点观测地表温度数据和HIRS LST数据的逐日数据概率密度分布函数(1980—2009)

Fig.7 Normalized probability density function of the HIRS LST and ground measurements in (a) typical area A and (b) typical area B regions during 1980-2009



注:符号的颜色和形状代表30 a温度变化的大小和显著性;圆形代表通过 $\alpha=0.05$ 的M-K显著性检验,三角形代表没通过M-K显著性检验。下同。

图8 1980—2009年地表温度的空间分布

Fig.8 Linear trends for (a) ground measurements and (b) HIRS LST data during 1980-2009

强北弱的空间变化,但数值差异不大,大部分站点的HIRS LST趋势在0.5~0.6 °C/10 a之间,只有南京、南通部分站点呈现全省最高增温趋势,数值上>

0.6 °C/10 a,且并未出现没通过M-K显著性检验及过高、过低的增温趋势。

将2种数据长期趋势分析划分为不同的季节,



结果如图9所示。可以看出,春季为全省站点观测的平均增温最显著的季节,增温趋势呈现南高北低的空间变化且差异较大,主要在0.10~1.30 °C/10 a之间。除东部沿海几个站点增温趋势较弱之外,大部分站点增温速率大于0.50 °C/10 a,南部个别几个站点出现增温趋势大于1.1 °C/10 a的情况。夏季作为与冬季、春季、秋季差异最大的季节,其最明显的特征表现为整个北部以及南部沿海地区的大部分站点出现大面积的降温趋势,虽为不显著的微弱降温,但其趋势值得引起重视。同时,在夏季,全省温度变化趋势的空间差异较大,南部增温趋势大于0.5 °C/10 a,北部降温趋势在-0.5~0 °C/10 a区间。秋季地温大体上具有与夏季相似的南高北低的空间分布特征,但北部的大面积地区降温趋势减缓,只剩个别站点出现较小的降幅,整体数值均较夏季升高一个等级。冬季与春季类似,仍保持着自南向北温度增速不断加快的趋势,但西南地区、南部地区的增势较春季减缓很多,而东北部沿海地区出现了强于春季的增势。总体来说,冬季的增势空间分布较为均匀,主要集中于0.5~0.9 °C/10 a。HIRS LST虽然也再现了LST增温趋势的南强北弱的空间分布以及相似的季节变化,但在细节刻画上,尤其是空间差异方面体现得不明显。春季也是HIRS LST增温最显著的季节,但与站点数据相比,HIRS LST增温空间差异不大:北部为0.5~0.7 °C/10 a,中部及南部地区为0.7~0.9 °C/10 a。同时,HIRS未能再现站点数据在夏季的降温趋势,仅在西北地区呈现不

明显的小幅增温趋势。HIRS趋势在秋季与夏季的空间分布非常相似,除个别站点,大部分保持同一等级。而冬季的HIRS趋势较春季基本下降一个等级,但是增温趋势弱于站点数据。因此,HIRS数据在长期变化趋势的刻画方面,仍有改进之处;虽然也有春强冬弱的季节变化,但没有再现江苏南部地区春季强烈的增温趋势和北部地区夏季的不明显降温趋势,并且其趋势在空间差异不明显,整体低估了地温的变暖趋势。这可能是由于HIRS数据的空间分辨率较低造成的。同时,由于江苏特殊的季风气候造成夏季多雨,从而影响了地表的辐射和传感器的探测,因此也会造成夏季数据测量较为不准确。

### 4 结论

地表温度是气候和环境研究的关键变量<sup>[34]</sup>,特别是长时间连续的地表温度数据对于研究气候变化、陆面—大气耦合以及其他陆面变量的生成至关重要。本文分析了高时空分辨率的长时间序列的HIRS LST数据集和较为密集的地面观测地表温度数据在不同时间尺度下变化的一致性,得到了以下结论:

(1) 利用站点观测数据对HIRS LST验证表明两者在江苏1980—2009年间的时间变化一致性很强,但一致性在不同的时间尺度仍呈现不同的变化特征。其中,在日均值尺度上一致性最高,相关系

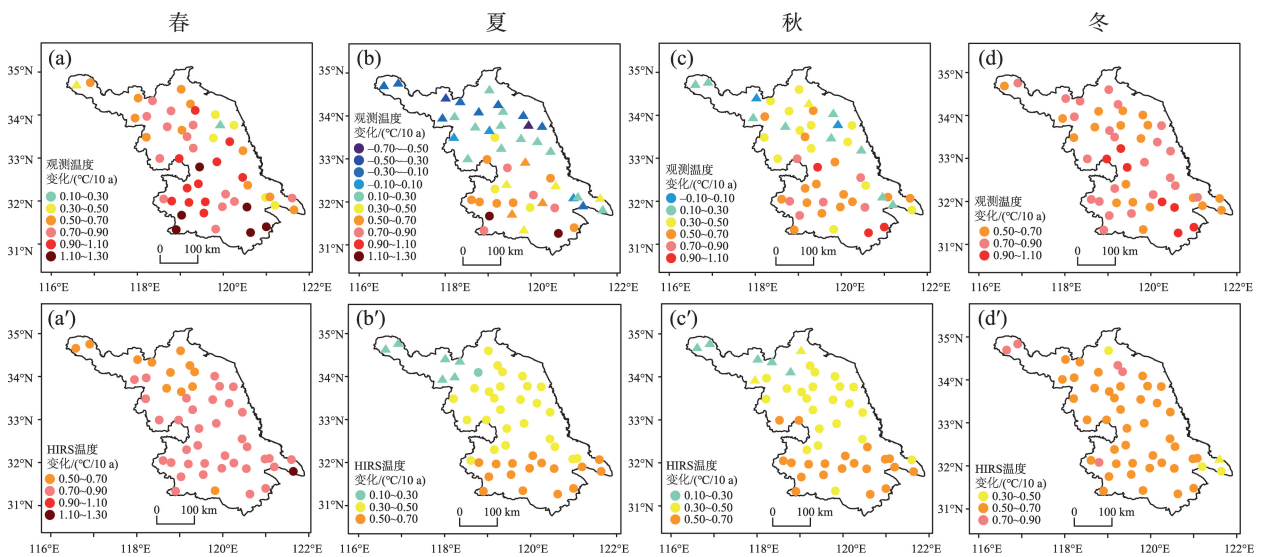


图9 观测数据和HIRS地表温度数据在1980—2009年间四季的增量

Fig.9 Linear trends for ground measurements and HIRS LST data during 1980–2009

数可达0.98。这表明,HIRS LST不但能比较准确地反映站点观测资料的季节性变化,也能较为准确地反映其不同季节地表温度的年际变化。两者偏差小并且在不同时间尺度差异不大。通过日均值散点图也可以看出HIRS LST在江苏主要略微低估了地表温度数据,尤其是低估了极端高温事件。非偏性均方根误差总体数值较大且空间差异不明显,但在年尺度上数值最小,表示HIRS在年尺度上再现地表温度的能力最好,但在夏季非偏性均方根误差数值最大,意味着在夏季再现能力较弱。因此,总体来说,HIRS LST在江苏地区整体性能较好,能够再现江苏地区地表温度的时空变化。这一综合评价,也论证了HIRS LST数据集的数据融合技术的优越性。江苏水系众多,东部临海,HIRS LST在江苏地区较为良好的性能体现了其在水体反演能力上较强的适应性。

(2) 通过检验2种数据在1980—2009年间的数值变化趋势的一致性发现,站点观测地表温度与HIRS地表温度的年均值都为显著增加,观测数据全省平均增加为 $0.57\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,HIRS LST为 $0.56\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。这一现象与1980—2009年间当地的气温及全球气候变化背景下的气温显著增加密切相关。但是,HIRS在反映长期气候真实变化信息方面较为薄弱,无法再现观测数据在夏季的北部出现降温的趋势的特点;而且,在趋势的量化能力方面较弱,低估了增温趋势的数值。因此,HIRS LST数据在地表温度变化趋势方面仍有很大的提升空间。

本文论证了将多源卫星数据与再分析资料融合生成地温数据这一理论方法的可行性,虽然与常用Landsat、MODIS数据相比,HIRS LST空间分辨率较低,但利用其长时间连续数据仍然可以很好地完成地表温度气候分析,改变国内仅仅依靠单一卫星遥感数据源且数据集较短的现状。通过分析HIRS LST长时间序列地表温度的变化,可有效完成地温等生态评价工作。但是,由于HIRS空间分辨率较低且实测的地表温度数据是在观测点上获取的,2种数据的空间分辨率存在一定的差异。未来应通过不断加强自动观测站点的空间密度来改进对HIRS的验证,或是基于现有的精度较高的MODIS等数据集进行综合分析。由于受再分析资料NCEP CFSR时间限制(1992—2010年),HIRS LST数据集只更新到2009年,未来的工作应该致力于通过不断融合新的数据从而不断地延长该数据

集。另一方面,随着卫星遥感技术的发展,将高分辨率卫星遥感数据不断融合进数据集,发展时空分辨率更高的数据集也是未来研究的方向。

### 参考文献(References)

- [1] Seyfried M S, Flerchinger G N, Murdock M D, et al. Long-term soil temperature database, Reynolds Creek Experimental Watershed, Idaho, United States [J]. *Water Resources Research*, 2001, 37: 2843-2846.
- [2] Brooks P D, McKnight D, Elder K. Carbon limitation of soil respiration under winter snowpacks: Potential feedbacks between growing season and winter carbon fluxes [J]. *Global Change Biology*, 2005, 11: 231-238.
- [3] Bai Y, Scott T A, Chen W, et al. Long-term variation in soil temperature of the Mojave Desert, southwestern USA [J]. *Climate Research*, 2011, 46: 43-50.
- [4] Wang Y, Chen W, Zhang J, et al. Relationship between soil temperature in may over Northwest China and the East Asian summer monsoon precipitation [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2013, 27: 716-724.
- [5] Yang K, Zhang J. Spatiotemporal characteristics of soil temperature memory in China from observation [J]. *Theoretical & Applied Climatology*, 2015, 126(3-4): 1-11.
- [6] Xiao J, Yu F, Zhu W, et al. Comment on "The whole-soil carbon flux in response to warming" [J]. *Science*, 2018, 359: eaao0218. doi: 10.1126/science.aao0218.
- [7] 胡泽银, 王世杰, 白晓永, 等. 贵州省地表温度的遥感反演评价及时空分异规律 [J]. *生态学杂志*, 2018, 37(9): 2794-2807. [Hu Zeyin, Wang Shijie, Bai Xiaoyong, et al. Remote sensing retrieval and spatial-temporal differentiation of land surface temperature in Guizhou Province. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, 37(9): 2794-2807.]
- [8] 林中立, 徐涵秋, 陈弘. 我国东部沿海三大城市群热岛变化及其与城市群发展的关系 [J]. *环境科学研究*, 2018, 31(10): 1695-1704. [Lin Zhongli, Xu Hanqiu, Chen Hong. Urban heat island change and its relationship to the urbanization of three major urban agglomerations in China's eastern coastal region. *Research of Environmental Sciences*, 2018, 31(10): 1695-1704.]
- [9] 王建凯, 王开存, 王普才. 基于MODIS地表温度产品的北京城市热岛(冷岛)强度分析 [J]. *遥感学报*, 2007, 11(3): 330-339. [Wang Jiankai, Wang Kaicun, Wang Pucui. Urban heat (or cool) island over Beijing from MODIS land surface temperature. *Journal of Remote Sensing*, 2007, 11(3): 330-339.]
- [10] 徐涵秋. 区域生态环境变化的遥感评价指数 [J]. *中国环境科学*, 2013, 33(5): 889-897. [Xu Hanqiu. A remote

- sensing index for assessment of regional ecological changes. *China Environmental Science*, 2013, 33(5): 889-897. ]
- [11] 赵亚芳. 环太湖地区城市热岛特征的遥感资料分析与数值模拟研究 [D]. 南京: 南京大学, 2015. [Zhao Yafang. Remote sensing data analysis and numerical simulation of the urban heat island effects in Lake Tai Basin. Nanjing, China: Nanjing University, 2015. ]
- [12] 杨朝斌, 何兴元, 张树文, 等. 基于Landsat8的城市热岛效应与地表因子关系研究: 以长春市为例 [J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(12): 110-115. [Yang Chaobin, He Xingyuan, Zhang Shuwen, et al. Estimation of the relationship between urban heat island and land surface factors using Landsat 8 data: A case study in Changchun, China. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2016, 30(12): 110-115. ]
- [13] 丁海勇, 李往华. 基于TVX方法的南京市城区时空格局与地表温度的研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(4): 735-744. [Ding Haiyong, Li Wanghua. Analysis of land use land cover temporal-spatial distribution and land surface temperature in Nanjing City using TVX Method. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2018, 27(4): 735-744. ]
- [14] 谢苗苗, 王仰麟, 付梅臣. 城市地表温度热岛影响因素研究进展 [J]. 地理科学进展, 2011, 30(1): 35-41. [Xie Miaomiao, Wang Yanglin, Fu Meichen. An overview and perspective about causative factors of surface urban heat island effects. *Progress in Geography*, 2011, 30(1): 35-41. ]
- [15] 李元征, 尹科, 周宏轩, 等. 基于遥感监测的城市热岛研究进展 [J]. 地理科学进展, 2016, 35(9): 1062-1074. [Li Yuanzheng, Ying Ke, Zhou Hongxuan, et al. Progress in urban heat island monitoring by remote sensing. *Progress in Geography*, 2016, 35(9): 1062-1074. ]
- [16] 孟翔晨, 历华, 杜永明, 等. Landsat 8地表温度反演及验证: 以黑河流域为例 [J]. 遥感学报, 2018, 22(5): 857-871. [Meng Xiangchen, Li Hua, Du Yongming, et al. Retrieval and validation of the land surface temperature derived from Landsat 8 data: A case study of the Heihe River Basin. *Journal of Remote Sensing*, 2018, 22(5): 857-871. ]
- [17] Gutman G G. Vegetation indices from AVHRR: An update and future prospects [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1991, 35(2-3): 121-136.
- [18] Parinussa R, Jeu R D, Schalie R V D, et al. A Quasi-Global approach to improve day-time satellite surface soil moisture anomalies through the land surface temperature input [J]. *Climate*, 2016, 4: 50. doi: 10.1002/2016GL071354.
- [19] 魏然. 多源遥感地表温度数据时空融合研究及应用 [D]. 武汉: 武汉大学, 2016. [Wei Ran. Researching and application of multi-source remote sensing data fusing. Wuhan, China: Wuhan University, 2016. ]
- [20] 杨敏, 杨贵军, 陈晓宁, 等. 基于FSDAF方法融合生成高时空分辨率地表温度 [J]. 国土资源遥感, 2018, 30(1): 54-62. [Yang Min, Yang Guijun, Chen Xiaoning, et al. Generation of land surface temperature with high spatial and temporal resolution based on FSDAF method. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2018, 30(1): 54-62. ]
- [21] Coccia G, Siemann A L, Pan M, et al. Creating consistent datasets by combining remotely-sensed data and land surface model estimates through Bayesian uncertainty post-processing: The case of land surface temperature from HIRS [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2015, 170(1): 290-305.
- [22] 谢志清, 杜银, 曾燕, 等. 长江三角洲城市带扩展对区域温度变化的影响 [J]. 地理学报, 2007, 62(7): 717-727. [Xie Zhiqing, Du Yin, Zeng Yan, et al. Impact of urban expansion on regional temperature change in the Yangtze River Delta. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(7): 717-727. ]
- [23] 施建成, 杜阳, 杜今阳, 等. 微波遥感地表参数反演进展 [J]. 中国科学: 地球科学, 2012, 42(6): 814-842. [Shi Jiancheng, Du Yang, Du Jinyang, et al. Advances in surface parameter retrieving for microwave remote sensing. *Scientia Sinica Terrae*, 2012, 42(6): 814-842. ]
- [24] 徐涵秋. 新型Landsat 8卫星影像的反射率和地表温度反演 [J]. 地球物理学报, 2015, 58(3): 741-747. [Xu Hanqiu. Retrieval of the reflectance and land surface temperature of the newly-launched Landsat 8 satellite. *Chinese Journal of Geophysics*, 2015, 58(3): 741-747. ]
- [25] 江苏省气象局. 江苏省气候图集 [M]. 北京: 气象出版社, 2009. [Jiangsu Meteorological Administration. *Climatological atlas of Jiangsu Province*. Beijing, China: China Meteorological Press, 2009. ]
- [26] 中国气象局. 地面气象观测规范 [M]. 北京: 气象出版社, 2003. [China Meteorological Bureau. *Specifications for surface meteorological observation*. Beijing, China: China Meteorological Press, 2003. ]
- [27] 李黄. 自动气象站实用手册 [M]. 北京: 气象出版社, 2007. [Li Huang. *Solutions for automatic weather station*. Beijing, China: China Meteorological Press, 2007. ]
- [28] Ullah W, Wang G, Gao Z, et al. Comparisons of remote sensing and reanalysis soil moisture products over the Tibetan Plateau, China [J]. *Cold Regions Science and Tech-*

- nology, 2018, 146: 110-121.
- [29] 孙添, 王国杰, 娄丹, 等. 青藏高原区域多源土壤湿度数据的对比分析 [J]. 江苏农业科学, 2018, 46(10): 285-290. [Sun Tian, Wang Guojie, Lou Dan, et al. Contrastive analysis of multi-sensor soil moisture datasets of Tibetan Plateau. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(10): 285-290. ]
- [30] Sen P K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau [J]. *Journal of the American Statistical Association*, 1968, 63: 1379-1389.
- [31] Guan Y, Zhang X, Zheng F, et al. Trends and variability of daily temperature extremes during 1960–2012 in the Yangtze River Basin, China [J]. *Global and Planetary Change*, 2015, 124: 79-94.
- [32] 娄丹. 卫星遥感土壤湿度的时空分布及其对大气降水反馈作用 [D]. 南京: 南京信息工程大学, 2016. [Lou Dan. Spatial and temporal distribution of satellite remote sensing soil moisture and its feedback to atmospheric precipitation. Nanjing, China: Nanjing University of Information Science and Technology, 2016. ]
- [33] Mann H B. Nonparametric tests against trend [J]. *Econometrica*, 1945, 13: 245-259.
- [34] Kendall M G, Gibbons J D. Rank correlation methods [J]. *Biometrika*, 1990, 25(1): 86-91.
- [35] Gocic M, Trajkovic S. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia [J]. *Global and Planetary Change*, 2013, 100: 172-182.
- [36] Siemann A L, Coccia G, Pan M, et al. Development and analysis of a long term, global, terrestrial land surface temperature dataset based on HIRS satellite retrievals [J]. *Journal of Climate*, 2016, 29(10): 160229122352006. doi: 10.2307/26385468.
- [37] Dorigo W, Wagner W, Albergel C, et al, ESA CCI soil moisture for improved earth system understanding: state-of-the art and future directions [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 203: S0034425717303061. doi: 10.1016/j.rse.2017.07.001.
- [38] Zhang Y, Chen W, Smith S L, et al. Soil temperature in Canada during the twentieth century: Complex responses to atmospheric climate change [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2005, 110(D3). doi: 10.1029/2004jd004910.
- [39] García-Suárez A M, Butler C J. Soil temperatures at Armagh Observatory, Northern Ireland, from 1904 to 2002 [J]. *International Journal of Climatology*, 2006, 26: 1075-1089.
- [40] Yeşilırmak E. Soil temperature trends in Büyük Menderes Basin, Turkey [J]. *Meteorological Applications*, 2014, 21: 859-866.
- [41] Araghi A, Mousavi-Baygi M, Adamowski J. Detecting soil temperature trends in Northeast Iran from 1993 to 2016 [J]. *Soil and Tillage Research*, 2017, 174: 177-192.

## Evaluation of the long-term high-resolution infrared radiation sounder land surface temperature during 1980–2009 in Jiangsu Province, China

SHI Xiao<sup>1,2,3</sup>, WANG Guojie<sup>3</sup>, SUN Ming<sup>2</sup>, LI Yvtao<sup>1,4</sup>, WANG Boni<sup>1,2</sup>, SHEN Jie<sup>5</sup>

(1. Key Laboratory of Transportation Meteorology, China Meteorological Administration, Nanjing 210008, China;

2. Jiangsu Meteorological Bureau, Meteorological Services Center, Nanjing 210008, China;

3. School of Geographical Sciences, Nanjing University of Information Science & Technology, Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing 210044, China;

4. Jiangsu Meteorological Bureau, Meteorological Information Center, Nanjing 210008, China;

5. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment (Nanjing Normal University), Ministry of Education, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** Surface temperature plays a key role in physical and biological processes on Earth, and it is an important index for evaluating surface thermal environment. Understanding the temporal and spatial variations of surface temperature is of great significance for urban heat island monitoring and ecological quality evaluation. Current land surface temperature products derived from satellite remote sensing suffer from partial coverage or cloud-cover blockage problems, which have potential limitations on the study of climate and ecological environment. The recently developed NOAA satellites High-Resolution Infrared Radiation Sounder (HIRS) land surface temperature (LST) product is among the longest LST records. To examine the spatiotemporal distribution of LST in Jiangsu Province and data performance of HIRS LST at different temporal scales, we evaluated the HIRS LST and in situ measurement correlation coefficient ( $R$ ), bias, and unbiased root mean square difference (ubRMSD) using the daily, annual, and seasonal mean values, together with the long-term linear trend during 30 years in the province. Great consistency between the two products is observed. Their correlation coefficients are higher than 0.98 for all stations, and those for daily anomalies range from 0.65 to 0.80 across the region. The bias and the ubRMSD indicate that the HIRS data have generally underestimated the LST across the northern and some southern areas, mainly because of its large underestimation of the occurrences of temperature higher than 32 °C. Nevertheless, the HIRS LST has largely overestimated the occurrences of summer days with temperature ranging from 20–30 °C. As for the intraannual variations, the HIRS LST shows highest correlation with in situ measurements in the spring, but the correlation is lowest in the winter. Trend test shows that both sets of data show significant increasing trends with similar patterns in the spring, autumn, and winter. However, the long-term trends are significantly overestimated across the region in the summer, and underestimated in other seasons in the HIRS LST data.

**Keywords:** land surface temperature (LST); remote sensing; High-Resolution Infrared Radiation Sounder (HIRS); product evaluation; tendency analysis; Jiangsu Province