

# 基于 MODIS 数据的长江三角洲地区近地表气温遥感反演

徐永明<sup>1,2</sup>, 覃志豪<sup>2</sup>, 沈 艳<sup>3</sup>

(1. 南京信息工程大学遥感学院, 南京 210044; 2. 南京大学国际地球系统科学研究所, 南京 210093;  
3. 国家气象信息中心, 北京 100081)

**摘 要:** 近地表气温是一个重要的气候参数, 为了给农业研究提供空间上连续的气温信息, 以长江三角洲为研究区, 根据 MODIS 地表温度和 NDVI 数据运用温度-植被指数方法反演了 2005 年全年的气温, 并通过进一步去除温度-植被指数空间窗口的残余云和水体信息扩大了该方法的适用范围。最后利用气象站点观测气温数据对遥感反演值进行了精度验证, 分析了误差的分布特征和变化规律。常规温度-植被指数方法的气温反演误差为 2.39℃, 但是只有 72.23% 的样本能适用该方法。在去除温度-植被指数窗口内残余云和水体信息之后, 温度-植被指数方法适用样本比例提高到了 80.15%, 误差为 2.44℃。温度-植被指数方法的反演精度在很大程度上受到空间窗口内植被覆盖及地表异质性的影响, 在植被覆盖度较高的区域误差明显偏低。论文提出的改进温度-植被指数方法在农田区域及农作物生长期具有很好的适用性和精度, 为有效获取大范围农田气温提供了一种新的思路。

**关键词:** 遥感, 近地表气温, 反演, 长江三角洲, MODIS, TVX 方法

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.09.013

中图分类号: S127

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-09-0063-06

徐永明, 覃志豪, 沈 艳. 基于 MODIS 数据的长江三角洲地区近地表气温遥感反演[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 63—68.

Xu Yongming, Qin Zhihao, Shen Yan. Estimation of near surface air temperature from MODIS data in the Yangtze River Delta[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(9): 63—68. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

近地表气温是一个重要的气候参数<sup>[1]</sup>, 是地表与大气的能量交换与水分循环过程中的关键因子<sup>[2-3]</sup>。气温与农业生产密切相关, 对于农作物生长发育、产量形成乃至病虫害都有重要影响, 在农作物估产、地表蒸散、农业生产潜力等研究中有着非常重要的意义<sup>[4-7]</sup>。目前气温数据主要来自气象站点的观测。然而, 气象站点只能提供空间上离散的有限点观测数据, 作为区域气温的粗略代表<sup>[8]</sup>。很多研究需要空间上连续的气温面数据而非点数据, 因此观测气温数据还需要通过 GIS 的空间插值进行栅格化处理。空间插值结果受制于气象站点的密度和分布特征, 由于气象站点分布不均而且在部分地区密度很小, 很多情况下进行空间插值得不到满意的气温空间分布数据<sup>[9]</sup>。

卫星遥感能够提供大范围的空间上连续的地表和大气的信息, 提供比气象观测资料更理想的空间异质度信息。由于卫星传感器接收到的热红外辐射能量中大气辐射的比例很小, 加上大气热辐射的复杂性, 直接从热红外遥感数据反演近地表气温存在很大的难度<sup>[10]</sup>。目前利用卫星热红外遥感数据反演气温的方法主要是基于地表温度

与气温之间的关系来估算气温<sup>[2,11-16]</sup>。太阳辐射首先加热陆地表面, 然后由陆地表面对近地表大气加热, 地表温度与气温之间存在必然的联系, 因此可以通过热红外遥感数据反演出地表温度, 再进一步推算气温。

通过卫星遥感手段获取准确而详细的气温时空分布信息, 能够为农业干旱监测、农作物估产、农业资源区划研究等提供数据支持, 对于农情监测与农业管理具有十分重要的意义。本文以长江三角洲地区为研究区, 根据 2005 年的逐日 MODIS 地表温度和植被指数数据通过温度-植被指数 (temperature vegetation index, TVX) 方法反演近地表气温, 并利用气象站点的观测气温值对遥感反演结果进行了验证。

## 1 研究区与研究数据

### 1.1 研究区概况

长江三角洲以上海为中心, 包括江苏的南京、镇江、扬州、泰州、南通、苏州、无锡、常州及浙江的杭州、嘉兴、湖州、宁波、绍兴、舟山共 15 个地级以上市, 118.33°~122.95°E, 29.04°~33.41°N, 面积约为 10.1 万 km<sup>2</sup>。本地区以平原为主, 西部和南部有一些山地丘陵。属亚热带湿润季风气候, 年均气温 15~17℃, 年降水量 1 000~1 800 mm。

### 1.2 研究数据

遥感数据主要为 2005 年全年的 EOS/AQUA MODIS 逐日数据 (V005 版本), 包括地表温度数据 (MYD11\_L2)、地表反射率数据 (MYD09GA) 和云掩膜数据 (MYD35\_L2)。

收稿日期: 2010-12-16 修订日期: 2011-06-15

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (2010CB428505; 2010CB951504); 国家自然科学基金项目 (40901239; 41001289)

作者简介: 徐永明 (1980—), 男, 讲师, 博士, 主要从事热红外遥感、资源环境遥感方面的研究。南京 南京信息工程大学遥感学院, 210044。

Email: xym30@263.net

云掩膜数据由美国宇航局 NASA 的 LAADS (MODIS 11 and atmospheres archive and distribution system) 提供, 地表温度数据和地表反射率数据由美国地质调查局 USGS 的 LP DAAC (land process distributed active archive center) 提供。此外, 还使用了基于 MODIS EVI 数据得到的长江三角洲地区土地覆盖数据<sup>[17]</sup>。

气温观测资料为研究区 2005 年的地面自动气象站逐小时气温数据集。观测仪器为自动站近地面 2 m 处的铂电阻温度传感器, 观测数据经过了气候学界限值检查、台站极值检查、时间一致性检查和空间一致性检查, 精度为 0.1℃。在研究区范围内的总共有 79 个站点, 空间分布如图 1 所示。

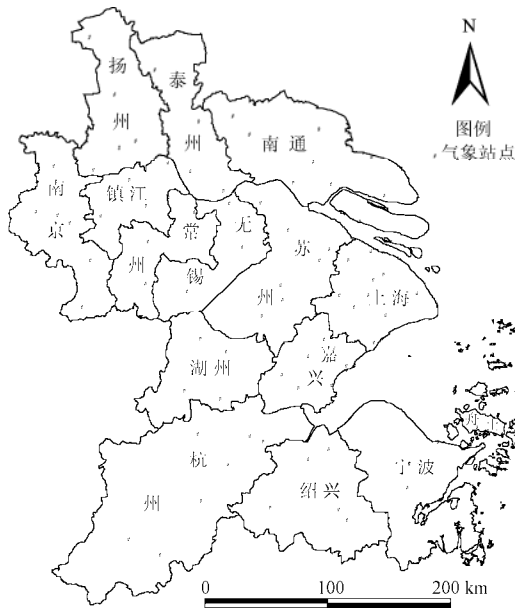


图 1 研究区气温观测站点分布图

Fig.1 Distribution map of meteorological observing stations in study area

### 1.3 数据预处理

编程对 2005 年所有 MODIS 数据进行投影转换、镶嵌和空间裁切数据。经过预处理之后, 数据统一转换为 Albers 正轴割圆锥等积投影, 椭球体为 Krossovsky 椭球体, 中央经线 105°E, 双标准纬线 25°和 47°N, 空间分辨率为 1 km。

从地表反射率数据中提取出第 1、2 波段地表反射率并计算出归一化植被指数 NDVI, 从地表温度数据中提取出白天的地表温度, 从云掩膜数据中提取出云掩膜, 从土地覆盖数据中提取出水体掩膜。此外, 为了对站点观测气温数据进行时相修正, 从地表温度数据中提取出 MODIS 成像时间。

由于气象站点观测的气温资料是整点时刻的气温值, 而 MODIS 成像时间通常都不是整点时刻, 两者在时间上不匹配, 依据 MODIS 成像时间来对气温观测资料进行了修正: 从预处理得到的 MODIS 图像时间数据中读取研究区 79 个气象站点的每日 MODIS 成像时间, 然后从气温观测资料中提取出成像时前后 2 个整点时刻的气

温观测值进行线性插值, 将插值结果作为该站点成像时的观测气温值。利用云掩膜数据对气温观测资料进行掩膜, 只保留晴空条件下成像时的气温数据, 最后得到的有效气温记录为 3 814 个。

## 2 研究方法

### 2.1 TVX 方法原理

TVX 方法是一种利用地表温度  $T_s$  和植被指数 NDVI 之间的负相关性从遥感数据中提取气温的空间邻域运算方法。其原理是假定浓密植被的冠层表面温度等于冠层内的气温, 通过某个像元邻域窗口的地表温度-植被指数空间计算出浓密植被冠层的温度, 就可近似作为该邻域窗口的气温<sup>[2]</sup>。TVX 方法只需要遥感影像导出的地表温度和 NDVI 就可以估算气温, 不需要地表观测资料, 对输入参数要求很小。

虽然单个叶片在太阳直射条件下的温度要比周围气温高出许多, 但遥感像元尺度上的空间异质度以及冠层叶片群体遮蔽混合效应使得浓密植被的冠层温度与气温很接近<sup>[11]</sup>。在一定范围内, 选择高植被覆盖度像元的温度作为气温估计值的假设是可行的<sup>[18]</sup>。

由于空间邻域窗口内未必存在高植被覆盖度像元, 为了保证 TVX 方法的实用性, 可根据 NDVI 和  $T_s$  之间的回归直线 (式 1) 推算出浓密植被 NDVI 值对应的地表温度 (浓密植被冠层温度)。根据浓密植被冠层温度等于冠层内气温的前提假设, 可以获得该窗口的气温值。

$$T_a = NDVI_{sat} \times S + I \quad (1)$$

式中,  $T_a$  为近地表气温, ℃;  $S$ 、 $I$  为利用邻域窗口中的 NDVI 和  $T_s$  根据最小二乘法拟合得到的回归直线的斜率、截距;  $NDVI_{sat}$  为浓密冠层的 NDVI (饱和 NDVI) 值。

### 2.2 TVX 方法计算气温的流程

TVX 方法基于 NDVI 和  $T_s$  之间的回归直线推算出饱和 NDVI 值所对应的地表温度, 根据浓密植被冠层温度近似等于近地表气温的假设, 即可得到该窗口的气温。在计算气温之前, 需要确定 2 个重要参数值, 即空间窗口尺寸与 NDVI 饱和值。

Prihodko 和 Goward<sup>[2]</sup>在 FIFE 试验区利用高密度的气象站点观测资料对气温进行空间自相关分析, 结果表明气温在水平距离 6 km 范围内变化通常小于 0.6℃, 而超出这个距离则变化剧烈。因此, 本文的 TVX 方法采用 6 km 半径范围的空间窗口, 对于 1 km 分辨率的 MODIS 数据而言, 即 13×13 像元。由于 MODIS 反射率数据已经过大气校正处理, 在一定程度上消除了大气散射对于 NDVI 值的影响, 根据前人的研究<sup>[2,19-20]</sup>, NDVI 饱和值取 0.86。

TVX 方法计算近地表气温的流程为

- 1) 读入地表温度、NDVI、水体掩膜和云掩膜数据;
- 2) 循环读取 13×13 大小的窗口;
- 3) 去除窗口内的云和水体像元;
- 4) 统计剩下的像元数, 如果低于 30 则不再计算当前像元的气温值, 跳出本循环, 进入下一个 13×13 窗口;
- 5) 计算  $T_s$  和 NDVI 之间的线性关系, 若斜率小于 0

则取  $NDVI=0.86$  处的  $T_s$  作为当前像元的气温, 如果斜率大于 0 则跳出本循环, 进入下一个  $13 \times 13$  窗口。

### 2.3 TVX 方法的改进

由上述可知, TVX 方法并不适用于所有情况。当 TVX 空间窗口内水体或者云较多时 TVX 负相关关系不成立时, 无法计算气温值。当窗口中植被信息比较微弱时 TVX 斜率同样不为负值, 也无法计算气温<sup>[12,21]</sup>。如果空间窗口内 NDVI 变化范围很窄, 那么基于这些像元建立的 TVX 斜率有可能出现不合理的情况, 气温反演误差会比较高。比如在冬季及初春的某些区域, NDVI 值变化很小; 由于林火、秸秆燃烧等产生的烟霾也会降低 NDVI 的对比度。在地貌突变或者多种地物混合的情况下, TVX 关系也会受到较大影响。因为 NDVI 可近似看作线性混合, 而地表温度并不是线性变化的<sup>[22]</sup>。

本文给出如下几种 TVX 方法不适用的情况:

- 1) 窗口内有效像元 NDVI 方差小于 0.0004, 说明 NDVI 值太集中;
- 2) 窗口内有效像元 NDVI 均值小于 0.3, 说明该地区植被覆盖较低;
- 3) 窗口内有效像元 TVX 回归直线的拟合误差大于 1.0, 说明由于不同地物混杂或不同地形造成的窗口异质度过高。

若某个空间窗口符合上面 3 种情况中的任何一种, 则该窗口不进行 TVX 计算。

空间窗口中云或者水体的存在往往会导致 TVX 斜率

为正的情况。虽然已经通过云掩膜数据和土地覆盖数据去除了云像元和水体像元, 但是云掩膜和土地覆盖分类未必能检测出所有的云和水体, 尤其是较小的亚像元尺度的云和水体。Czajkowski 等研究表明去除窗口内云和水体的“污染”可以有效扩大 TVX 方法的适用范围<sup>[12]</sup>, 本文进一步去除云和水体“污染”的步骤如下:

- 1) 如果某窗口的 TVX 斜率为正并且 TVX 回归直线的拟合误差大于 1, 首先去除那些 NDVI 或  $T_s$  值都比均值低 1 个标准差以上的像元, 重新做 TVX 回归分析;
- 2) 如果斜率仍然为正且 TVX 回归直线的拟合误差大于 1, 再次掩膜, 去除那些 NDVI 或  $T_s$  值都比均值低 0.5 个标准差以上的像元;
- 3) 重复上面的步骤, 直到斜率为负并且 TVX 回归直线的拟合误差小于 1;
- 4) 如果剩下像元数不足 30 个, 该窗口不进行 TVX 计算。

经过上面的处理之后, 能够有效扩大 TVX 方法的适用范围。在某些 TVX 方法原本不适用的空间窗口, 经过上述处理之后能够满足 TVX 方法的条件。

## 3 结果与分析

### 3.1 精度验证

分别运用常规 TVX 方法和改进 TVX 方法计算长江三角洲地区 2005 年全年的近地表气温, 根据气象站点观测资料对 2 种 TVX 方法的反演气温进行精度验证(图 2)。

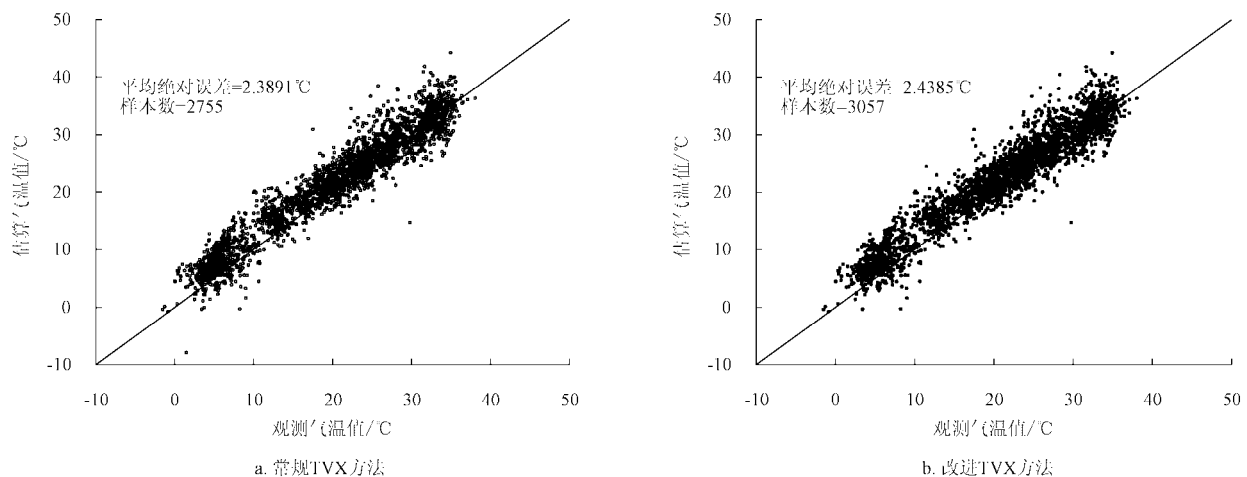


图 2 2 种 TVX 方法的反演气温值与观测值的散点图

Fig.2 Scatter plot of measured air temperature versus derived air temperature by two TVX methods

从图 2 中可见, 两种 TVX 方法均未能适用于所有的 3814 个样本, 其中常规方法只针对 2755 个样本有效, 改进方法针对 3057 个样本有效。2 种方法反演误差相差不大, 平均绝对误差 MAE 分别为 2.39°C 和 2.44°C。改进方法的反演精度要略低于常规方法, 这是因为有些在常规方法中不适用 TVX 方法的情况在改进之后可以应用 TVX 方法, 而其中有一部分情况其 TVX 关系不够明确, 导致改进方法的整体精度有所下降。但是对 TVX 方法改进后有效样本比例从 72.23% 提高到了 80.15%, 可见改进

后算法有效扩大了 TVX 方法的适用范围。

2 种方法 TVX 方法的大部分样本都位于 1:1 线附近, 说明反演气温与观测气温之间的吻合度较好。从整体趋势来看, 样本大多在 1:1 线以上, 反映出反演气温值比观测值偏高, 这也是 TVX 方法普遍存在的一个问题<sup>[2,11,21]</sup>。此外, 气温越低观测值与反演值的差距就越大, 说明 TVX 方法在较低温度的情况下误差较大, 这可能是由于冬季植被信息减弱导致的结果。

### 3.2 误差分析

为了分析 TVX 方法在不同季节的表现, 绘制了 2 种 TVX 方法误差随时间的变化曲线 (图 3)。可以看出, 2 种 TVX 方法误差的时相变化趋势是相似的, 都是在 2、3 月最高, 然后随着时间推移逐渐下降, 到了 6、7 月份又有一定程度的升高, 然后再单调下降, 11 月份达到最低点。按季节分析, 秋季的估算误差最低、夏季次之, 冬季最高。秋季误差最低是因为该时期 NDVI 值较高, 而且分布较广, 提高了 TVX 方程的拟合稳定性。此外这

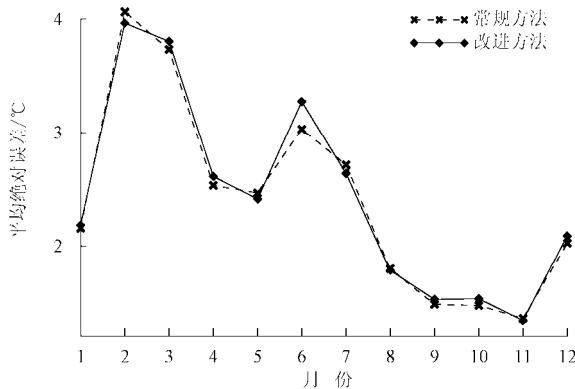


图 3 气温反演误差随时间的变化

Fig.3 Variations of retrieved error with date

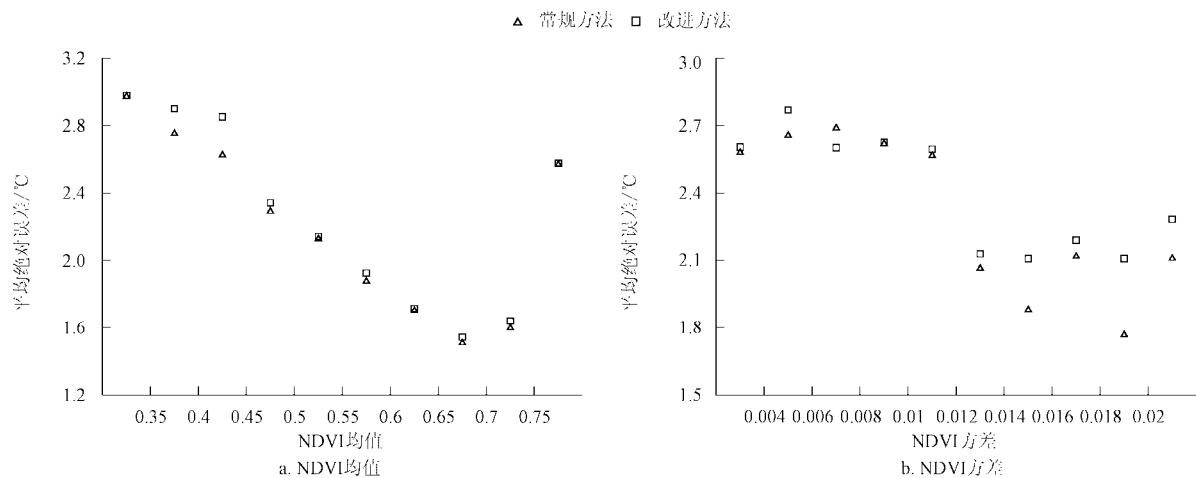


图 4 气温反演误差与空间窗口内 NDVI 统计特征的关系

Fig.4 Variations of retrieved errors with mean and variance of NDVI in context windows

从图 4a 中可以看出, TVX 反演误差在总体上呈现出随 NDVI 均值升高而逐渐下降的趋势, 在 NDVI 均值在 0.65~0.75 之间时达到最低, 而在 NDVI 均值大于 0.75 的时候迅速反弹。气温估算误差随 NDVI 均值的升高而降低是因为当地表植被覆盖较多时, 地表温度与植被指数的负相关关系比较显著。而 NDVI 均值大于 0.75 时气温估算误差上升可能是因为这种情况下窗口 NDVI 普遍很高, 值域过窄导致 TVX 方程拟合的不稳定。从图 4b 中可以看出, 气温估算误差在 NDVI 方差小于 0.012 时处于较高水平, 在 NDVI 方差大于 0.012 时有所降低, 在大于 0.020 时又有所反弹。NDVI 方差反映了空间窗口内

段时期云量和降水相对较少, 降低了像元中残余云以及短暂积水对 TVX 方法的影响。夏季 NDVI 值普遍最高, 造成 NDVI 值域过窄, 影响了 TVX 方程的稳定性, 而且该时期降水较多, 残余云以及短暂积水在一定程度上影响了 TVX 关系。春季误差较高可能是由于这个季节长江三角洲地区气溶胶光学厚度最大<sup>[23]</sup>, 影响了遥感影像 NDVI 值的准确性所导致的结果。冬季误差最高主要是由于该时期植被信息最弱, 使得 TVX 关系不够显著, 另外 NDVI 值域过窄也有一定的影响。

TVX 方法估算气温的关键在于地表温度  $T_s$  和植被指数 NDVI 的关系。如果空间窗口内植被覆盖较少, NDVI 值过低的话, 会影响 TVX 关系; 而如果空间窗口内地表状况过于均一, NDVI 值过于接近的话, 也会影响 TVX 方程拟合的稳定性。可见, TVX 反演精度在一定程度上受到 NDVI 值分布状况的影响。TVX 空间窗口内的 NDVI 均值反映了植被信息的强弱, NDVI 方差反映了窗口中土地覆盖类型的异质度。本文对 2 种 TVX 方法估算误差与  $13 \times 13$  空间窗口内有效像元 (非云、水体像元) NDVI 均值、方差之间的关系。计算以各站点为中心的  $13 \times 13$  邻域窗口内的 NDVI 均值和方差, 分别划分为 10 个值域区间, 统计各个值域区间的平均绝对误差 MAE, 绘出误差随 NDVI 均值及方差的变化曲线 (图 4)。

NDVI 的离散程度。方差较低说明 NDVI 变化范围很小, 会影响 TVX 方程拟合的稳定性从而增加了气温的反演误差, 所以当空间窗口内 NDVI 方差升高时其误差会有所下降。而 NDVI 方差大于 0.020 时反演误差又开始回升可能是因为这种情况是由于空间窗口内多种土地覆盖类型混合造成的, 该窗口的总体 TVX 方程是多种不同 TVX 关系混合的结果, 导致估算精度偏低。

### 4 结论与讨论

1) 根据 MODIS 数据运用 TVX 方法反演了长江三角洲地区 2005 年全年的近地表气温, 通过气象观测资料对

TVX 反演气温值进行了精度验证。通过对 TVX 空间窗口内残余水体和云像元的进一步去除, 适用样本数由常规 TVX 方法的 72.23% 提高到了 80.15%, 适用范围明显扩大。

2) 从季节分布上看, TVX 方法在秋季的估算误差最低, 夏季次之, 冬季最高。对 TVX 反演误差与空间窗口 NDVI 关系的分析表明, TVX 方法的反演精度在很大程度上受到空间窗口内植被覆盖及地表异质性的影响, 误差总体上随着窗口内 NDVI 均值和方差的增加而降低。从误差分析结果看, TVX 方法在低植被覆盖区以及植被信息最弱的冬季误差最大, 但是对作物生长期内的农田具有较好的适用性和较高的精度。

改进后的 TVX 方法能够基于 MODIS 遥感数据有效获取大范围农田的近地表气温, 为农情监测、农业管理与规划等提供了重要的数据支持, 对于科学指导农业生产、合理利用农业资源具有十分重要的意义。

### [参 考 文 献]

- [1] Mao K B, Tang H J, Wang X F, et al. Near-surface air temperature estimation from ASTER data based on neural network algorithm[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2008, 29(20): 6021—6028.
- [2] Prihodko L, Goward S N. Estimation of air temperature from remotely sensed surface observations[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 60(3): 335—346.
- [3] Jang J, Viau A A, Ancil F. Neural network estimation of air temperatures from AVHRR data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, 25(21): 4541—4554.
- [4] 李军, 黄敬峰, 王秀珍. 山区月平均气温的高空间分辨率分布模型与制图[J]. *农业工程学报*, 2004, 20(3): 19—23.  
Li Jun, Huang Jingfeng, Wang Xiuzhen. Distribution model and mapping of monthly average temperature with high space resolution in mountainous areas[J]. *Transactions of the CSAE*, 2004, 20(3): 19—23. (in Chinese with English abstract)
- [5] 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.  
Wang Linlin, Shi Tongguang, Zou Meiling. Air temperature simulation based on GIS in Rizhao city[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2008, 24(5): 47—50. (in Chinese with English abstract)
- [6] 李伟君, 王春乙, 赵蓓, 等. 气候变化对中国农业气象灾害与病虫害的影响[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(增刊 1): 263—271.  
Li Yijun, Wang Chunyi, Zhao Bei, et al. Effects of climate change on agricultural meteorological disaster and crop insects diseases[J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(Supp.1): 263—271. (in Chinese with English abstract)
- [7] 冯美臣, 肖璐洁, 杨武德, 等. 基于遥感数据和气象数据的水旱地冬小麦产量估测[J]. *农业工程学报*, 2011, 26(11): 183—188.  
Feng Meichen, Xiao Lujie, Yang Wude, et al. Predicting grain yield of irrigation-land and dry-land winter wheat based on remote sensing data and meteorological data[J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 26(11): 183—188. (in Chinese with English abstract)
- [8] Lakshmi V, Czajkowski K, Dubayah R, et al. Land surface air temperature mapping using TOV and AVHRR[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22(4): 643—662.
- [9] Sun Y J, Wang J F, Zhang R H, et al. Air temperature retrieval from remote sensing data based on thermodynamics [J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2005, 80(1): 37—48.
- [10] Czajkowski K P, Goward S N, Stadler S, et al. Thermal remote sensing of near surface environmental variables: application over the oklahoma mesonet[J]. *The Professional Geographer*, 2000, 52(2): 345—357.
- [11] 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.
- [12] Czajkowski K P, Mulhern T, Goward S N, et al. Biospheric environmental monitoring at BOREAS with AVHRR observations[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1997, 102(29): 651—662.
- [13] Vancutsem Y, Ceccato P, Dinku T. Evaluation of MODIS land surface temperature data to estimate air temperature in different ecosystems over africa[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2010, 114(2): 449—465.
- [14] Kawashima S, Ishida T, Minomura M, et al. Relations between surface temperature and air temperature on a local scale during winter nights[J]. *Journal of Applied Meteorology*, 2000, 39(9): 1570—1579.
- [15] Cresswell M P. Estimating surface air temperatures, from Meteosat land surface temperatures, using an empirical solar zenith angle[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1999, 20(6): 1125—1132.
- [16] Green R M, Hay S I. The potential of Pathfinder AVHRR data for providing surrogate climatic variables across Africa and Europe for epidemiological applications[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 79(2/3): 166—175.
- [17] 徐永明, 刘勇洪, 魏鸣, 等. 基于 MODIS 数据的长江三角洲地区土地覆盖分类[J]. *地理学报*, 2006, 62(6): 43—55.  
Xu Yongming, Liu Yonghong, Wei Ming, et al. Land cover classification of the Yangtze River Delta using MODIS data [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 62(6): 43—55. (in Chinese with English abstract)
- [18] Carlson T N, Gillies R R, Perry E M. A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurements to infer surface soil water content and fractional vegetation cover[J]. *Remote Sensing Review*, 1994, 52(1/2): 161—173.
- [19] Riddering J P, Queen L P. Estimating near-surface air temperature with NOAA AVHRR[J]. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2006, 32(1): 33—43.
- [20] 齐述华, 王军邦, 张庆员, 等. 利用 MODIS 遥感影像获取近地层气温的方法研究[J]. *遥感学报*, 2005, 9(5): 570—575.  
Qi Shuhua, Wang Junbang, Zhang Qingyuan, et al. Study on the estimation of air temperature from MODIS data[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2005, 9(5): 570—575. (in Chinese with English abstract)
- [21] Prince S D, Goetz S J, Dubayah R O, et al. Inference of surface

- and air temperature, atmospheric precipitable water and vapor pressure deficit using Advanced Very High- Resolution Radiometer satellite observations: Comparison with field observations [J]. *Journal of Hydrology*, 1998, 213: 230—249.
- [22] Quattrochi D A, Goel N S. Spatial and temporal scaling of thermal infrared remote sensing data[J]. *Remote Sensing Reviews*, 1995, 12(3/4): 255—286.
- [23] 李成才. MODIS 遥感气溶胶光学厚度及应用与区域环境大气污染研究[D]. 北京: 北京大学物理学院, 2002.
- Li Chengcai. Remote Sensing of Aerosol Optical Depth with MODIS and its Application in the Regional Environmental air Pollution Studies[D]. Beijing: School of Physics, Peking University, 2002. (in Chinese with English abstract)

## Estimation of near surface air temperature from MODIS data in the Yangtze River Delta

Xu Yongming<sup>1,2</sup>, Qin Zhihao<sup>2</sup>, Shen Yan<sup>3</sup>

(1. School of remote sensing, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China;

2. International Institute for Earth System Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

3. National Meteorological Information Center, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Near surface air temperature is an important meteorological parameter and is closely related to agriculture production. Comparing with the traditional meteorological observation, satellite remote sensing provides a straightforward and consistent way to obtain air temperature over regional and global scales with more spatially detailed information. In this paper, the temperature-vegetation index method was used to retrieve the air temperature throughout 2005 in the Yangtze River Delta by MODIS land surface temperature and NDVI data. The retrieved air temperatures were validated by the meteorological observed air temperatures. The estimating error was about 2.39°C with the normal temperature-vegetation index method, but only 72.23% of the samples could be used by this method. After some additional rules were made to broaden the applied range of temperature-vegetation index method, the percentage of valid estimates increased to 80.15% and the estimating error slightly rose to 2.44°C. Further more, the characters and variations of retrieval error were also analyzed. Results show that the retrieval accuracy of temperature-vegetation index method is significantly influenced by the vegetation coverage and land surface heterogeneity in temperature-vegetation index context windows. Estimation errors in high vegetation covered areas are obviously lower than in other areas. The improved temperature-vegetation index method shows good applicability and accuracy in cropland areas during crop growing seasons, which can provide a new approach for acquisition of air temperature of cropland in large-scale.

**Key words:** remote sensing, near surface air temperature, estimation, Yangtze River Delta, MODIS, TVX method