

文章编号: 1006-4354 (2007) 01-0012-04

基于 MODIS 数据的陕西地表温度监测

李星敏¹, 杨文峰², 张树誉³, 高 蓓³

(1. 陕西省经济作物气象服务台, 西安 710014; 2. 陕西省气象台, 西安 710014;
3. 陕西省农业遥感信息中心, 西安 710014)

摘 要: 地表温度是反映土壤—植被—大气系统能量流动与物质交换的重要参数, 讨论了利用 EOS/MODIS 资料反演地表温度的分裂窗方法各参数获取及其在陕西省的应用; 建立了基于 MODIS 遥感资料和地面自动气象站观测资料反演地表温度的统计模型。监测试验结果表明: 利用分裂窗方法反演陕西地表温度, 其中参数设定仍需要做大量工作; 统计方法考虑季节差异, 在地表状况不太复杂时也能取得较好的监测效果。

关键词: MODIS; 地表温度; 监测

中图分类号: P407

文献标识码: A

监测地表温度 (LST) 对预测农作物适时播种, 了解土壤与作物水分状况等具有现实意义。目前, 地表温度的获得主要是依靠地面观测站, 但要获取大面积较高分辨率的地表温度是不现实的, 利用卫星遥感资料可以方便地反演出大范围的地表温度资料, 且资料更新快、成本低。用极轨气象卫星资料反演地表温度, 国内外已有大量研究。MODIS 卫星具有不同于 NOAA/AVHRR 卫星的光谱分辨率和空间分辨率的特点, 自发射以来得到了广泛关注。用 MODIS 资料反演地表温度主要有 3 种方法^[1]: 单一红外通道方法、分裂窗方法和针对 MODIS 探测仪特性而设计的白天/夜间 MODIS 的 LST 方法。本文主要讨论分裂窗方法和基于遥感和地面观测资料的统计方法在陕西省地表温度监测中的应用。

1 地表温度监测方法

1.1 分裂窗方法

1.1.1 原理 首先是针对 AVHRR 的第 4、5 热红外波段设计的, 由地表热辐射传导方程推导的表达式:

$$T_s = T_4 + A(T_4 - T_5) + B \quad (1)$$

式中: T_s 为地表温度, T_4 和 T_5 分别为 AVHRR

通道 4 和通道 5 的亮度温度; A 、 B 是与大气状态、视角、地表反射率有关的系数。AVHRR 的通道 4 ($10.5 \sim 11.3 \mu\text{m}$) 和通道 5 ($11.5 \sim 12.5 \mu\text{m}$) 恰与 MODIS 的第 31 波段 ($10.780 \sim 11.280 \mu\text{m}$) 和 32 波段 ($11.770 \sim 12.270 \mu\text{m}$) 的中心波长相对应, 可将 MODIS 的 31、32 波段资料, 用于分裂窗算法进行地表温度计算。

选择基于热辐射传输方程推导出的地表温度算法^[2], 根据 Planck 方程, 对 MODIS 的第 31 波段和 32 波段做温度 ($0 \sim 50^\circ\text{C}$) 与辐射强度的散点图, 发现温度 ($0 \sim 50^\circ\text{C}$) 与辐射率有近似线性关系。利用该近似线性关系, 可得针对 MODIS 的第 31 波段和 32 波段, 基于热辐射传输方程的地表温度算法。算法需要求出大气透过率和地表比辐射率。

1.1.2 大气透过率 τ 的计算 大气透过率是遥感器所接收到的热辐射能与地表真实辐射能的比值。大气透过率的限制因子中, 认为大气水汽对热辐射的影响最为显著。MODIS 数据的第 2 波段 ($0.865 \mu\text{m}$) 为大气窗口波段; 第 19 波段 ($0.940 \mu\text{m}$) 为水汽吸收波段, 可以利用水汽吸收波段与窗口波段的反射率比值来计算出 τ 。

收稿日期: 2006-08-07

作者简介: 李星敏 (1968-), 女, 甘肃酒泉人, 高级工程师, 从事遥感与应用气象工作。

利用已有模拟参数的实验结果^[3], 得到第 31 和 32 波段大气透过率 τ_{31} 、 τ_{32} 与大气水汽含量 w 的线性方程。

中纬度大气夏季:

$$\tau_{31} = -0.10671\tau w + 1.04015, R^2 = 0.994 \quad (2)$$

$$\tau_{32} = -0.12577\tau w + 0.99229, R^2 = 0.995 \quad (3)$$

冬季: $\tau_{31} = -0.124\tau w + 1.047, R^2 = 0.995 \quad (4)$

$$\tau_{32} = -0.145\tau w + 0.997, R^2 = 0.994 \quad (5)$$

1.1.3 地表比辐射率的计算 地表比辐射率是指物体在温度 T 、波长 λ 处的辐射出射度与同温度、同波长下的黑体辐射出射度的比值, 比辐射率的测量受多种因素的影响, 主要取决于实际地物的物质特性与观测波段。MODIS 数据空间分辨率为 1 km, 星下点地面像元可大致看成由 3 种基本地表类型构成的混合像元: 水体、植被和裸地。可依据地表组分估算混合像元的有效平均比辐射率^[4], 计算公式:

$$\epsilon = P_w R_w \epsilon_w + P_v R_v \epsilon_v + (1 - P_w - P_v) R_s \epsilon_s + d_e \quad (6)$$

式中, ϵ 为混合像元的平均比辐射率; P_w 、 P_v 分别为水面、植被的构成比例; ϵ_w 、 ϵ_v 、 ϵ_s 、分别为水体、植被、裸土的比辐射率; R_w 、 R_v 、 R_s 为温度比率。由于 MODIS 数据像元分辨率为 1 km, 3 种地表类型之间的热辐射相互作用 d_e 可忽略不计。取 3 种地物在 31 和 32 波段比辐射率^[4]分别为: 植被 0.984 8、0.985 7, 土壤 0.973 1、0.983 2, 水体 0.992、0.989。最后根据公式 (6) 估计各像元的比辐射率 ϵ 。

分裂窗方法监测地表温度的流程见图 1。

1.2 基于遥感和地面观测资料的统计方法

选择陕西省农业遥感信息中心接收的 2003—2005 年覆盖陕西省的所有 EOS/MODIS 晴空资料共 30 幅, 其中春季 9 幅、夏季 8 幅、秋季 7 幅、冬季 6 幅, 利用中国气象局研制的 EOS/MODIS 资料接收处理系统软件和 ENVI 软件, 将接收的 EOS/MODIS 卫星资料经过定标、几何校正、投影变换后, 读取与地面自动气象站对应点的 EOS/MODIS 1、2、19、29、31、32 通道资料, 其中通道 1、2、19 为定标后的反射率, 29、31、32 为反映水汽和地表温度的辐射值。选取与

卫星遥感资料同日期 11 时或 12 时 (依据卫星过境时间) 地面气象自动站地表温度观测资料。

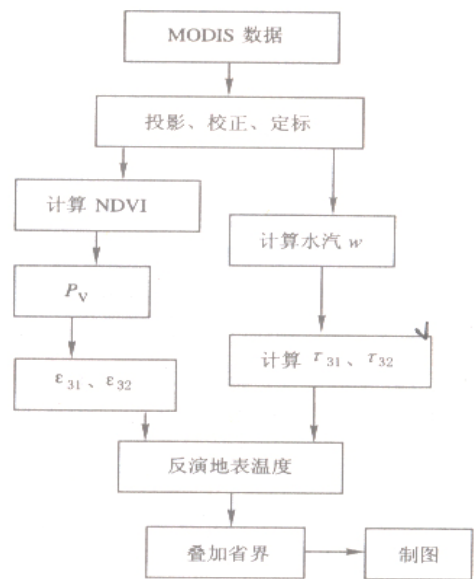


图 1 分裂窗算法监测地表温度流程

使用地面自动气象站观测的地表温度资料, 读取同一时间与该自动站对应点的 MODIS 通道 19、29、31、32 和归一化植被指数 (NDVI) 资料, 根据资料时间和站点分布区域, 按季节在陕北、关中、陕南各区域分别建立用 MODIS 资料反演地表温度的拟合方程, 选择复相关系数较大的作为该季节或该区域适合的模型, 经过分析比较: 建立全省全年适用的模型只用 31、32 通道资料, 模型的复相关系数可以达到 0.83, 加入 19 或 29 水汽通道或 NDVI 后, 模型的复相关系数提高不明显, 所以建立全省全年适用的模型时只需要用 MODIS 的 31 和 32 通道资料。春季全省, 还是陕北、关中、陕南分区域使用 31、32 通道建立的模型, 加入 NDVI 和水汽通道后, 模型的复相关系数有增加, 但增加不明显, 所以春季仍然使用 31、32 通道资料建立模型。夏季, 全省或各区域建立模型时, 加上水汽通道后模型的复相关系数高于仅用 31、32 通道建立的模型; 秋季, 无论全省或各区域建立模型时, 考虑 NDVI 后模型的复相关系数会得到明显提高; 冬季全省或各域分别建立模型时, 需要考虑 19 或 29 水汽通道。全年和各

季节建立的反演 LST 的模型见表 1。

使用 2004 年 2 月 14 日、2005 年 4 月 3 日、

表 1 全年与各季反演 LST 模型 (分区域模型略)

时间	样本数	相关系数	F 值	模 型
全年	103 1	0.838 6	2 670.12	$t = 0.569T_{31} - 0.449T_{32} - 321.85$
春季	374	0.666 5	370.80	$t = 0.274T_{31} - 0.16T_{32} - 301.02$
夏季	185	0.283 4	23.86	$t = 0.082Q_{19} + 0.732T_{31} - 0.685T_{32} - 115.99$
秋季	266	0.832 7	434.82	$t = 0.388T_{31} - 0.266T_{32} + 12.471V_{NDVI} - 333.23$
冬季	207	0.571 8	90.35	$t = 0.585T_{31} - 0.477T_{32} - 0.052Q_{19} - 284.62$

注: 各模型及其因子均通过 0.01 的信度检验, T_{31} 、 T_{32} 分别为 31、32 通道辐射值, Q_{19} 为 19 通道辐射值, V_{NDVI} 为归一化植被指数值, t 为反演的地表温度/ $^{\circ}\text{C}$ 。

2005 年 6 月 13 日和 2005 年 9 月 8 日 EOS/MODIS 资料 (未参加模型建立), 用全年模型和季节、区域模型进行 LST 反演计算, 并使用相应时间的地面气象自动观测站资料进行验证, 表 2 为反演的地表温度的绝对误差小于 3°C 的检验点占总检验点的百分比 W 及误差分析。

用时需要作调整, 统计模型反演的结果与地面自动气象站观测的地表温度比较接近。

表 2 反演的 LST 绝对误差小于 3°C 的检验点占总检验点的百分比 $W/\%$ 及误差分析

季节	总样本		季节模型 $W/\%$	绝对误差/ $^{\circ}\text{C}$	相对误差/ $\%$
	模型 $W/\%$	分区模型 $W/\%$			
春季	27	56	38	4.8	13
夏季	25	31	55	3.5	7
秋季	54	61	63	2.9	7
冬季	54	51	63	2.9	16

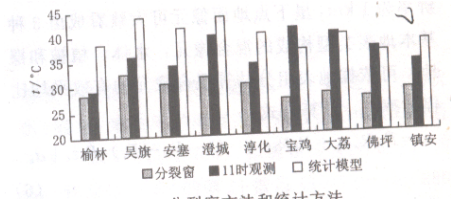


图 2 分裂窗方法和统计方法反演的 2005-04-03 LST 比较

从统计模型反演的 2005 年 4 月 3 日 11 时地表温度的分布结果 (图 3) 可以看出, 秦岭、华山等海拔较高的地方地表温度小于 20°C (其中宝鸡西部低温区是由于云覆盖所致), 关中中部地表

由表 2 可以看到: 各季 (除春季外) 模型反演的地表温度的绝对误差在 3°C 以内的点都在 50% 以上, 在业务化监测中可以考虑使用季节模型。

2 监测实例

分别利用分裂窗方法和基于遥感资料建立的统计模型对 2005 年 4 月 3 日陕西省农业遥感信息中心接收的 EOS/MODIS1km 数据反演陕西省地表温度, 图 2 为两种方法反演出的各站地表温度, 从反演计算结果看, 分裂窗算法中所取的参数是毛克彪等^[2-3]在山东等地的模拟结果, 应用于陕西后反演结果虽然能够反映出地表温度的高低, 但反演的地表温度值普遍低于地面自动气象站观测的地表温度, 所以该方法的参数在陕西应



图 3 2005-04-03 T 11 LST 监测结果

文章编号: 1006-4354 (2007) 01-0015-03

卡尔曼滤波在咸阳极端温度预报中的应用

史创社

(咸阳市气象局, 陕西咸阳 712000)

摘 要: 根据影响温度变化的因素选取初选因子, 用 2002 年 7—8 月 T213 资料与咸阳县各县实况气温求相关, 选取相关性好的作为入选因子, 建立各县 24 h 最高、最低温度的卡尔曼滤波模型。通过对 2002 年 7—8 月温度的回报和 2002 年 9 月温度的检验, 该预报方法能较好地反映咸阳县各县温度的变化趋势, 预报效果较好, 已投入业务运行。

关键词: 极端温度; T213 资料; 卡尔曼滤波

中图分类号: P457.3

文献标识码: A

用传统 MOS 方法作释用预报需要积累大量的数值产品历史资料样本 (至少 2 a), 而一般的数值预报模式在 2~3 a 内不断改变, 使 MOS 的预报能力受到限制, 而且 MOS 方程一旦建立, 制作预报过程中, 其预报误差不能及时反馈到 MOS

方程中, 更不能修正系数。卡尔曼滤波方法只需少量的数值产品历史资料, 就能建立适应数值模式变化的统计模型, 及时将预报误差反馈到方程中修正方程系数。本文用 2002 年 7、8 月 T213 资料与咸阳县各县实况温度资料建立咸阳县各县极端温

收稿日期: 2006-08-30

作者简介: 史创社 (1973-), 男, 陕西武功人, 工程师, 从事天气预报工作。

温度 32~36 °C, 这与此时正值小麦孕穗期地表植被覆盖较好有关; 除延安北部部分地区地表温度在 44 °C 以上外, 省内其余地方地表温度 40~44 °C; 与当日 11 时地面自动气象站观测地表温度相比, 除延安北部部分地区反演的地表温度明显高于自动站观测外, 其余地区地表温度分布与实际情况基本相符。

3 结论与讨论

分裂窗方法反演地表温度物理意义明确, 是目前反演地表温度精度较高的方法, 但由于其涉及到的地表比辐射率和卫星过境时的大气透过率较难获取, 需要一系列观测试验与模拟, 才能获得较好的反演结果, 该方法在陕西的应用还需要进一步研究。统计方法虽然不稳定, 但涉及参数较少, 在地表状况不太复杂时也能取得较好的监测效果。利用 EOS/MODIS 资料建立统计模型反演地表温度时, 分季节建立模型的反演精度高于全年使用一个模型的监测精度, 建立模型过程中,

除要用到反映陆地温度的 31、32 通道资料外, 夏季和冬季模型需要考虑水汽通道, 秋季模型需要考虑植被指数。用季节模型反演的 2005 年春季地表温度结果能反映出地表温度的分布, 并与实况较一致。

参考文献:

- [1] 刘玉洁, 杨忠东. MODIS 遥感信息处理原理与算法 [M]. 北京: 科学出版社, 2001: 198-232.
- [2] 毛克彪, 覃志豪, 施建成, 等. 针对 MODIS 影像的劈窗算法研究 [J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2005, 30 (8): 703-707.
- [3] 毛克彪, 覃志豪, 王建明, 等. 针对数据的大气水汽含量反演及 31 和 32 波段透过率计算 [J]. 国土资源遥感, 2005, 17 (1): 26-29.
- [4] 秦晓敏, 覃志豪, 毛克彪. 基于 MODIS 数据的陕西省地表温度的空间分布研究 [J]. 干旱区地理, 2005, 28 (4): 1-6.