

引用格式:Zhang Chengcai, Chen Donghe, Dong Hongtao. Land Surface Temperature Retrieval based on Landsat-5 TM Data in Baisha Irrigation of Henan Province[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2013, 28(6): 964-968. [张成才, 陈东河, 董洪涛. 基于 Landsat-5 TM 数据的河南省白沙灌区地表温度反演研究[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(6): 964-968.]

# 基于 Landsat-5 TM 数据的河南省白沙灌区地表温度反演研究

张成才<sup>1</sup>, 陈东河<sup>1</sup>, 董洪涛<sup>2</sup>

(1. 郑州大学水利与环境学院, 河南 郑州 450001; 2. 河南省白沙水库管理局, 河南 禹州 461670)

**摘要:**地表温度是土壤水分和植被水分状态的指示计, 在干旱遥感监测中有重要作用。应用 Landsat-5 TM 遥感数据和气象资料, 利用归一化植被指数 (NDVI) 区分地表覆盖类型, 采用 Van de Griend 的经验公式法结合典型地表赋值法计算出地表比辐射率。用单窗算法和单通道算法分别对河南省白沙灌区地表温度进行反演, 结果表明: 两种方法均能较好地将白沙灌区地表温度分布趋势反映出来, 单窗算法的反演精度较高, 绝对误差为 1.1 °C, 更适宜白沙灌区的地表温度反演, 进而可以提高灌区旱情遥感监测精度。

**关 键 词:** Landsat TM; 白沙灌区; 地表温度反演

**中图分类号:** TP 79      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-0323(2013)06-0964-05

## 1 引 言

地表温度 (Land Surface Temperature, LST) 是研究地表和大气之间物质交换和能量交换的重要参数, 也是土壤水分或者植被水分状态的指示计<sup>[1-2]</sup>, 在干旱遥感监测、城市热岛效应等研究中有重要应用<sup>[3-5]</sup>。陆地卫星 Landsat TM 凭借其较高的空间分辨率, 成为了应用非常广泛的遥感数据。当前, 采用 TM6 数据反演地表温度的主要方法有: 辐射传导方程法、单窗算法<sup>[6]</sup>和单通道算法<sup>[7]</sup>。辐射传导方程法需要卫星过境时刻的实时大气剖面数据, 且计算过程较为复杂, 因此在实际应用中较少。单窗算法和单通道算法仅需基本的气象资料就可实现地表温度的反演, 相比辐射传导方程法, 单窗算法和单通道算法所需参数资料少, 计算过程容易实现。

本文对河南省白沙灌区的地表温度遥感反演进行了研究, 使用 2007 年 5 月 19 日的 TM 数据, 应用 ENVI 遥感软件, 采用单窗算法和单通道算法分别对研究区进行了地表温度的反演, 并对反演结果进

行了比较和分析, 以期获得较适合该区域的地表温度反演方法, 使得地表温度在用于灌区干旱遥感监测时, 提高旱情监测结果的精度。

## 2 地表温度反演算法

### 2.1 单窗算法

覃志豪<sup>[6]</sup>根据地表热辐射传导方程, 通过一系列合理假设, 引进大气平均温度的概念, 推导出根据 TM6 演算地表温度的单窗算法:

$$T_s = [a_6(1 - C_6 - D_6) + [(b_6 - 1)(1 - C_6 - D_6) + 1]T_6 - D_6T_a]/C_6 \quad (1)$$

其中:  $T_s$ 、 $T_a$ 、 $T_6$  单位为 K,  $T_a$  为大气平均温度,  $T_6$  为亮度温度;  $a_6$  和  $b_6$  为常量, 一般情况下 (地表温度在 0 ~ 50 °C 范围内), 取值  $a_6 = -67.9542$ ,  $b_6 = 0.45987$ ;  $C_6$  和  $D_6$  是中间变量, 分别为:

$$C_6 = \epsilon_6 \tau_6 \quad (2)$$

$$D_6 = (1 - \epsilon_6)[1 + (1 - \epsilon_6)\tau_6] \quad (3)$$

其中:  $\epsilon_6$  为地表比辐射率,  $\tau_6$  为大气透射率。

收稿日期: 2012-09-25; 修订日期: 2013-01-16

基金项目: 河南省创新人才计划项目 (10410050003), 河南省水利厅科研计划项目“基于遥感技术的白沙灌区土壤墒情监测研究”(GG200912)。

作者简介: 张成才 (1964—), 男, 河南郸城人, 博士, 教授, 主要从事遥感技术与应用方面的研究。E-mail: zhangcc@zzu.edu.cn。

大气平均温度可由式(4) 求出<sup>[8]</sup>:  
中纬度夏季平均大气温度:  
$$Ta = 16.0110 + 0.92621T_0 \tag{4}$$
中纬度冬季平均大气温度:  
$$Ta = 19.2704 + 0.91118T_0 \tag{5}$$
 $T_0$  为地面附近(一般为 2 m 处)气温(K)。  $\tau_6$  可由大气总水分含量  $\omega(\text{g}/\text{cm}^2)$  来估算。对于水分含量在 0.4~3.0  $\text{g}/\text{cm}^2$  区间内,大气透射率估算方程如表 1 所示。

表 1 大气透射率估计方程表			
Table 1 Atmospheric transmissivity estimation equations			
大气剖面	水分含量 $\omega$ / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$	大气透射率估计方程	决定系数 $R^2$
高气温	0.4~1.6	$\tau_6 = 0.974290 - 0.08007\omega$	0.99611
	1.6~3.0	$\tau_6 = 1.031412 - 0.11536\omega$	0.99827
低气温	0.4~1.6	$\tau_6 = 0.982007 - 0.09611\omega$	0.99463
	1.6~3.0	$\tau_6 = 1.053710 - 0.14142\omega$	0.99899

大气中的水汽主要分布在对流层,对流层空气柱中水分总量与地面水汽压之间存在一定的联系,计算公式<sup>[9]</sup>如下:

$$\omega = 0.0981e + 0.1697 \tag{6}$$

其中: $e$  为地面水汽压(hPa),可表示为<sup>[10]</sup>:

$$e = (6.1078 \times 10^{\frac{7.5t}{t+273.3}}) \times RH \tag{7}$$

其中: $e$  为水汽压(hPa), $t$  为气温( $^{\circ}\text{C}$ ), $RH$  为相对湿度,均可从气象资料中获取。

2.2 单通道算法

单通道算法<sup>[7]</sup>(Single-channel Method) 是由 Jiménez-Muñoz 等在 2003 年提出的,可以仅依靠一个热波段来反演陆地表面温度,应用于 Landsat TM 数据,即:

$$T_s = \gamma[\epsilon^{-1}(\varphi_1 L_{\text{sensor}} + \varphi_2) + \varphi_3] + \delta \tag{8}$$

其中:

$$\gamma = \left\{ \frac{c_2 L_{\text{sensor}}}{T_{\text{sensor}}^2} \left[ \frac{\lambda^4}{c_1} L_{\text{sensor}} + \lambda^{-1} \right] \right\}^{-1} \tag{9}$$

$$\delta = -rL_{\text{sensor}} + T_{\text{sensor}} \tag{10}$$

其中: $\epsilon$  为地表比辐射率,  $L_{\text{sensor}}$  为传感器接收到的热辐射强度,单位为  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \text{sr}^{-1}$ ,  $T_{\text{sensor}}$  是传感器的亮度温度,单位为 K,  $\lambda$  为有效波长(对于 TM6,  $\lambda = 11.457 \mu\text{m}$ ),  $c_1 = 1.19104 \times 10^8 \text{ W} \cdot \mu\text{m}^4 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ ,  $c_2 = 1.43877 \times 10^4 \mu\text{m K}$ ,  $\varphi_1$ 、 $\varphi_2$ 、 $\varphi_3$  是整层大气水汽含量  $\omega$  的函数,根据以下公式可以计算出来:

$$\varphi_1 = 0.14714\omega^2 - 0.15583\omega + 1.1234 \tag{11}$$

$$\varphi_2 = -1.1836\omega^2 - 0.37607\omega - 0.52894 \tag{12}$$

$$\varphi_3 = -0.04554\omega^2 + 1.8719\omega - 0.39071 \tag{13}$$

3 白沙灌区地表温度反演

3.1 实验数据与研究区域概况

本研究用到的遥感数据是中国科学院数据应用环境网提供的 2007 年 5 月 19 日的 Landsat-5 TM 遥感影像(图 1)。另外还有气象资料,主要是气温和相对湿度。

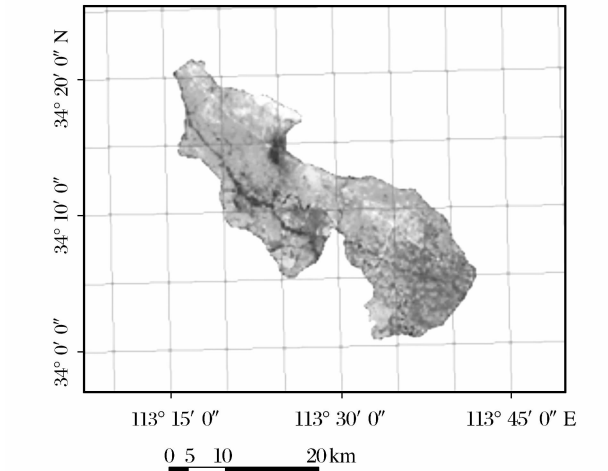


图 1 2007 年 5 月 19 日白沙灌区 Landsat-5 TM 原始影像假彩色合成图

Fig. 1 False color composite image of Landsat-5 TM Original Image of Baisha Irrigation on May 19, 2007

白沙灌区位于河南省禹州市和许昌县,地形以平原为主,还有部分岗地。灌区属淮河水系中的颍河流域。干旱经常影响灌区作物的生长,影响作物的产量。因此,研究灌区与土壤墒情有密切联系的地表温度对了解墒情分布状况具有一定的参考价值,也是实现遥感监测土壤墒情的基础<sup>[3]</sup>。

3.2 亮温计算

亮度温度是遥感器在卫星高度所观测到的热辐射强度相对应的温度。包含有大气和地表对热辐射传导的影响,不是真正意义上的地表温度。对于 Landsat-5 由热辐射强度推算对应的亮温公式如式(14)所示<sup>[6]</sup>:

$$T_6 = K_2 / \ln(1 + K_1 / L_{\text{sensor}}) \tag{14}$$

其中: $T_6$  为 TM6 的像元亮度温度(K),  $K_1$  和  $K_2$  为发射前预设的常量,  $K_1 = 60.776 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ ,  $K_2 = 1260.56 \text{ K}$ 。

3.3 地表比辐射率计算

Van de Griend 和 Owe<sup>[11]</sup>进行了大量的归一化植被指数(NDVI)值与实测地物发射率值之间关系

的研究,实验表明,地表比辐射率和归一化植被指数值(NDVI)之间存在高度的相关性,它们之间的关系可以表示为:

当自然地表 NDVI 值在 0.157~0.727 之间时,地表比辐射率计算公式为:

$$\epsilon=1.0094+0.047\ln(\text{NDVI})$$

(15)

当 0<NDVI<0.157 时,地表可看作由裸土构成;当 NDVI>0.727 时,地表可以看作完全由植被覆盖<sup>[12]</sup>。

白沙灌区的地表覆盖类型大概可分为完全植被、自然地表、水体与裸土,本研究采用 Van de Griend 和 Owe<sup>[12]</sup> 提出的经验公式,且结合覃志豪提出算法的参数赋予值,水体  $\epsilon_w=0.995$ ,裸土  $\epsilon_s=0.972$ ,植被  $\epsilon_v=0.986$ 。地表比辐射率的计算方法如表 2。

表 2 地表比辐射率计算方法

地表比辐射率 $\epsilon$	NDVI	地表覆盖类型
$\epsilon=\epsilon_w=0.995$	$\text{NDVI}\leq 0$	水体
$\epsilon=\epsilon_s=0.972$	$0<\text{NDVI}\leq 0.157$	裸土
$\epsilon=1.0094+0.047\ln(\text{NDVI})$	$0.157<\text{NDVI}<0.727$	自然地表
$\epsilon=\epsilon_v=0.986$	$\text{NDVI}\geq 0.727$	完全植被

3.4 大气平均作用温度和大气透射率计算

由白沙灌区禹州气象站得到的 2007 年 5 月 19 日白沙灌区的平均气温为 21.1℃,相对湿度 46%。由式(4)得,大气平均温度  $T_a=288.55\text{K}$ 。由式(6)和(7)得,灌区大气总水分含量为 1.30 g/cm<sup>2</sup>,结合表 1 中的  $\tau_6=0.974\,290-0.080\,07\omega$ ,可得,大气透射率  $\tau_6=0.870294$ 。

4 结果与分析

使用单窗算法和单通道算法对白沙灌区地表温度进行反演,温度分布如图 2、3 所示。由结果可以看出,单窗算法和单通道算法的温度分布变化趋势一致,但同一地点温度值略有偏差,大部分区域温度介于 30~45℃之间,温度变化连续,结合当日归一化植被指数(NDVI)情况(如图 4)发现高温区域主要集中在植被覆盖较少(NDVI 值低)的地表。

将亮度温度和地表温度进行统计比较分析,如表 3 所示。从地表温度和亮度温度的统计结果可以看出,对大气影响进行处理得到的地表温度大于未进行大气影响处理的亮度温度。由此可见,在一些研究中直接把亮度温度当作地表温度来应用存在较

大误差,尤其在定量遥感应用中。

对单窗算法和单通道算法得到的地表温度做差值运算,并对结果进行统计分析,如表 4 所示。从统计结果可以看出,白沙灌区应用单窗算法和单通道算法得到的平均地表温度相差约 4℃,单窗算法的地表温度值略高。

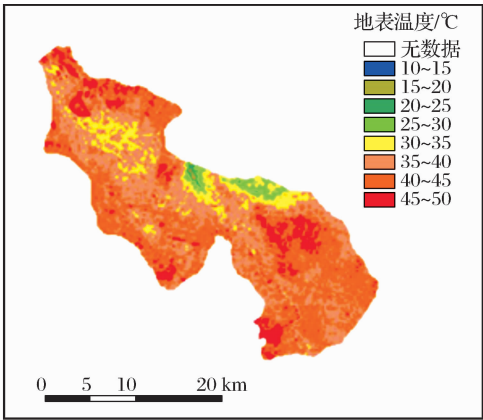


图 2 单窗算法地表温度

Fig. 2 LST using mono window algorithm

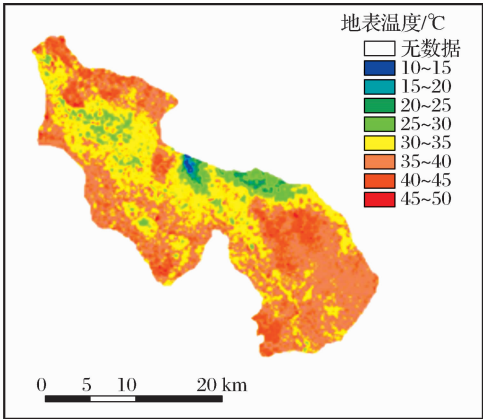


图 3 单通道算法地表温度

Fig. 3 LST using single channel algorithm

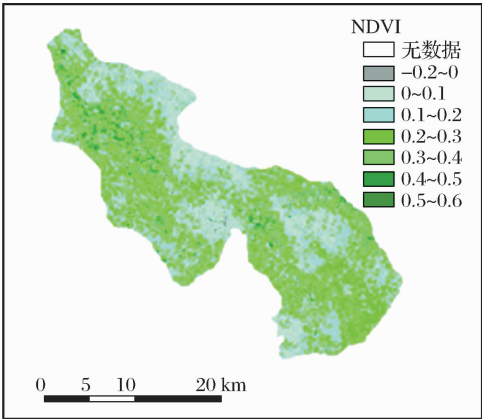


图 4 归一化植被指数(NDVI)图

Fig. 4 Normalized difference vegetation index

表 3 亮温和地温的统计结果

Table 3 Statistical results of bright temperature and land surface temperature	最小值	最大值	平均值
亮度温度/K	281.3	311.9	301.9
单窗地表温度/K	291.1	322.5	312.3
单通道地表温度/K	284.5	318.4	308.9

表 4 单窗算法和单通道算法地温差值统计结果  
Table 4 Statistics of land surface temperature difference using mono window algorithm and single channel algorithm

	最小值	最大值	平均值
地温差值/K	2.049	6.514	4.090

2007 年 5 月 19 日白沙灌区禹州气象站的最高地温是 54.3℃,最低地温是 11.7℃,日平均地温是 29.8℃,8 时的地表温度为 26.2℃,14 时地表温度是 51.8℃。禹州气象站在影像上的地表温度分别是 39.5℃(单窗算法)和 34.5℃(单通道算法)。当日 Landsat-5 过境的时间是早上 10:52,这时地温还没有达到最大值,所以它是小于 51.8℃的。单窗算法和单通道算法的结果介于最大值和最小值之间,初步验证计算结果是合理的。

由 8 时和 14 时地表温度通过插值得到卫星过境时刻(早上 10:52)禹州气象站点地表温度为 38.4℃,与单窗算法的 39.5℃更接近,绝对误差 1.1℃,相对误差 2.86%。单通道算法结果绝对误差 3.9℃,相对误差 10.16%。由此也可说明,在高温或高大气水分含量条件下单通道算法精度较差<sup>[12]</sup>,不如单窗算法具有普适性。因此针对白沙灌区的地表温度遥感反演方法,选择覃志豪的单窗算法更适宜。

5 结 语

本文在没有探空数据的情况下,利用相对湿度数据反演大气水分含量,同时运用经验公式法结合典型地表赋值法计算地表比辐射率,分别采用覃志豪等的单窗算法和 Jiménez-Muñoz 等的单通道算法,使用 Landsat-5 TM 遥感数据对河南白沙灌区的地表温度进行了反演,得到了白沙灌区的地表温度空间分布图。结果表明:单窗算法和单通道算法均能较好地将白沙灌区地表温度分布趋势反映出来,温度变化连续,大部分区域温度介于 30~45℃之间,高温主要集中在植被覆盖较少的区域。两种算法得到的平均地表温度相差约 4℃,单窗算法的

地表温度值略高。使用白沙灌区禹州气象站点 8 时与 14 时的地表温度经插值得到卫星过境时刻站点地表温度,对两种算法反演的结果进行了分析。单窗算法在灌区的地温反演精度较高,绝对误差为 1.1℃,覃志豪的单窗算法更适宜白沙灌区的地表温度反演。

参考文献(References):

[1] French A N, Norman J M, Anderson M C. A Simple and Fast Atmospheric Correction for Spaceborne Remote Sensing of Surface Temperature[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 87(2): 326-333.

[2] Liu Jing, Ma Hongzhang, Yang Le, et al. A Survey of Surface Temperature Retrieval by Passive Microwave Remote Sensing[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2012, 27(6): 812-821. [刘晶, 马红章, 杨乐, 等. 基于被动微波的地表温度反演研究综述[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(6): 812-821.]

[3] Zhao Guangmin, Li Xiaoyan, Li Baoyi. An Overview on Agricultural Drought Monitoring Methods based on Land Surface Temperature and Vegetation Index Feature Space[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2010, 17(5): 245-250. [赵广敏, 李晓燕, 李宝毅. 基于地表温度和植被指数特征空间的农业干旱遥感监测方法研究综述[J]. 水土保持研究, 2010, 17(5): 245-250.]

[4] Xie Yuanli, Fan Xiwei, Han Tao, et al. Surface Temperature Inversion and the Urban Heat Island Effect of Lanzhou based on TM[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(9): 172-175. [谢元礼, 范熙伟, 韩涛, 等. 基于 TM 影像的兰州市地表温度反演及城市热岛效应分析[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(9): 172-175.]

[5] Wang Shanshan, Chen Xi, Duan Hanming, et al. Study on Response of Land Surface Temperature to Land Use and Land Cover Change Using Remote Sensing Data: A Case on Urumqi, China[J]. Journal of Desert Research, 2012, 32(3): 878-884. [王珊珊, 陈曦, 段含明, 等. 城市地表温度对土地利用/覆被变化响应的遥感研究-以乌鲁木齐为例[J]. 中国沙漠, 2012, 32(3): 878-884.]

[6] Qin Zhihao, Zhang Minghua, Arnon Karnieli, et al. Mono-window Algorithm for Retrieving Land Surface Temperature from Landsat TM6 data[J]. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(4): 456-466. [覃志豪, Zhang Minghua, Arnon Karnieli, 等. 用陆地卫星 TM6 数据演算地表温度的单窗算法[J]. 地理学报, 2001, 56(4): 456-466.]

[7] Jiménez-Muñoz J C, Sobrino J A. A Generalized Single Channel Method for Retrieving Land Surface Temperature from Remote Sensing Data[J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(doi: 10. 1029/2003JD003480).

[8] Qin Zhihao, Li Wenjuan, Zhang Minghua, et al. Estimating of the Essential Atmospheric Parameters of Mono-window Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval from Landsat

TM6[J]. Remote Sensing For Land & Resources,2003,(2): 31-43. [覃志豪, Li Wenjuan, Zhang Minghua, 等. 单窗算法的大气参数估计方法[J]. 国土资源遥感, 2003,(2): 31-43. ]

[9] Li Jing. Estimating Land Surface Temperature from Landsat-5 TM[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2006, 21(4): 322-326. [李净. 基于 Landsat-5 TM 估算地表温度[J]. 遥感技术与应用, 2006, 21(4): 322-326. ]

[10] Sheng Peixuan, Mao Jietai, Li Jianguo, *et al.* Atmospheric Physics[M]. Beijing: Peking University Press, 2005. [盛裴轩, 毛节泰, 李建国, 等. 大气物理学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2005. ]

[11] Van de Griend A A, Owe M. On the Relationship between Thermal Emissivity and the Normalized Difference Vegetation Index for Natural Surface[J]. International Journal of Remote Sensing, 1993, 19(14): 1119-1131.

[12] Qin Zhihao, Li Wenjuan, Xu Bin, *et al.* Estimation Method of Land Surface Emissivity for Retrieving Land Surface Temperature from Landsat TM6 Data[J]. Advances in Marine Science, 2004, 22: 129-137. [覃志豪, 李文娟, 徐斌, 等. 利用 Landsat TM6 反演地表温度所需地表辐射率参数的估计方法[J]. 海洋科学进展, 2004, 22: 129-137. ]

[13] Fan Hui. A Comparison of the Algorithms of Land Surface Temperature Retrieval from Landsat TM Thermal Band[J]. Remote Sensing Information, 2009, (1): 36-40. [樊辉. 基于 Landsat TM 热红外波段反演地表温度的算法对比分析[J]. 遥感信息, 2009, (1): 36-40. ]

Land Surface Temperature Retrieval based on Landsat-5 TM Data in Baisha Irrigation of Henan province

Zhang Chengcai<sup>1</sup>, Chen Donghe<sup>1</sup>, Dong Hongtao<sup>2</sup>

(1. College of Water Conservancy & Environmental Engineering of Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

2. Henan Baisha Reservoir Administrative Bureau, Yuzhou 461670, China)

**Abstract:** Land Surface Temperature(LST) is the indicator of soil moisture and vegetation water status. Using Landsat TM data and meteorological data the land surface temperature of Baisha irrigation was retrieved by mono-window algorithm and single channel algorithm. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to distinguish between land cover types and calculated the surface emissivity using Van de Griend's empirical formula and typical surface assignment method. The results show that both the two methods could reflect the land surface temperature distribution trend of Baisha irrigation, and mono-window algorithm gets a higher precision result, the absolute error is 1.1℃, it is more suitable for the retrieval of Baisha irrigation land surface temperature, which can improve the accuracy of drought remote sensing monitoring in the Baisha irrigation area.

**Key words:** Landsat TM; Baisha irrigation; Land surface temperature retrieval