

文章编号: 1000-2022(2004) 03-0397-08

LST 在农业气候热量区划中的应用方法研究

杨 鑫^{1,2}, 孙 涵², 苏永秀²,
何 立², 马轮基²

(1. 南京农业大学 资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095;

2. 国家卫星气象中心 遥感应用试验基地, 广西 南宁 530022)

摘 要: 根据广西的自然地理特点和现有卫星遥感资料, 对国内外 10 多种反演 LST (land surface temperature, 陆面温度) 的分裂窗算法及其相关的参数估算方法进行适用性分析。在此基础上找出了适用于计算广西白天 LST 的算法, 并应用该算法计算了晴空条件下的 LST, 获得了逐日各个时次的 LST 实况分布。通过模板分析, 找到了求算多年 LST 气候平均图的途径。针对云剔除问题, 通过对公共晴空区的统计分析, 建立了不同图像间的数值补偿关系, 从而有效地消除了云的影响, 最终处理生成了广西多年和不同季节的平均 LST 空间分布图像。分析结果表明: 在 10 km 以上的宏观尺度上, 广西平均 LST 的空间分布与平均气温的空间分布规律基本一致, 而在 1 km 尺度上, LST 的空间特征更为精细、客观, 更有利于反映与作物生长关系更为密切的下垫面热量资源的气候分布, 是农业气候区划中更为有效的热量区划因子。

关键词: 卫星遥感; LST 平均图; 遥感反演

中图分类号: P423.3 **文献标识码:** A

农业气候资源是农业自然资源的重要组成部分。在农业气候资源区划中, 温度是一个重要的热量指标。从农业生产角度看, 在湿润和半湿润地区, 热量条件往往是决定当地作物布局、品种类型、种植制度的关键指标, 在农业气候区划中具有非常重要的作用。

20 世纪 60 年代中期和 80 年代初期, 我国先后完成了第 1 次和第 2 次农业气候区划, 对指导我国农业生产发展发挥了重要作用。这两次农业气候区划主要采用地面气象站点的常规观测资料, 主要反映大尺度的宏观气候资源特征, 对复杂地形的局地气候资源缺乏代表性。如广西 90 个气象台站, 每个台站相当代表 $2\ 630\text{ km}^2$ 的面积。其中, 有 77 个分布在海拔 300 m 以下, 海拔 300 m 以上的气象站只有 13 个, 海拔 800 m 以上只有乐业县气象站(海拔 972 m), 但是广西海拔 400 m 以上山地面积占全区总面积 41.19%。显然, 仅用气象台站的资料难以反映广西全区气候资源的实际分布。为此, 我国又在进行第 3 次农业气候区划试点工作, 引入 GIS (geographical information system, 地理信息系统) 技术, 通过加入经度、纬度、海

收稿日期: 2003-06-08; 改回日期: 2003-09-28

基金项目: 科技部社会公益研究专项(2002D1B10047)

作者简介: 杨 鑫(1976-), 男, 江苏连云港人, 硕士生, 研究方向: 环境遥感。现在广西气象局工作。

拔高度等地形因子,利用观测站点地理信息和气候要素建立模型,推算出无观测站点的气候资源,希望能较细致地反映局地气候资源分布。

根据农业生物层的特点和总的能量平衡关系可知,温度条件对植物生长的影响主要包括 3 个方面:空气温度、植物体温(一般以反映能量交换最敏感、对植物生产力影响最活跃的叶温来代替)和土壤温度。植物的光合作用、呼吸作用以及其他生理生化活动,更直接地受制于植物体温。土壤温度直接影响作物种子的萌发和作物根系发育,而植物体周围的空气温度与百叶箱中的气温也存在着一定的差异,特别是在植物旺盛生长时期更为明显^[1]。因此,在传统农业气候区划中用平均气温作为主要热量因子,未能充分反映作物体周围的环境温度、土壤温度和作物自身的温度,仅用气温评价某地的热量条件则存在着明显的缺陷,但在过去也是无法解决的问题。

随着遥感技术的发展,使用卫星遥感资料监测地面温度成为人们十分关注的问题。卫星遥感具有覆盖范围宽、信息周期短、通道信息丰富、信息源稳定、处理技术成熟等许多优点。用卫星探测资料反演的陆面温度(LST)^[2],直接包含了作物本身的冠层温度、影响作物生长的近地层气温和表层土壤温度,可以更好地反映作物的热量需求。从卫星测量得到的地面温度可以反映每个像元的下垫面温度的平均状况,能够较详细地反映下垫面温度场的空间分布特征,具有传统观测方法无法比拟的优越性,是进行农业气候区划的有效热量因子。

常规使用的极轨气象卫星的单轨资料即可覆盖广西全境,并可以在千米尺度上较详细地分析下垫面热量分布空间特征,加之资料序列较长,可以应用于农业气候区划。本文的研究重点是应用 NOAA/AVHRR 卫星资料反演白天 LST,进而通过模板分析和云区剔除处理技术制作 LST 平均图,目的是为农业气候区划提供一种新的热量因子,以使农业气候区划成果更精细、客观。

1 LST 的性质及多年平均图的制作思路

陆面温度直接影响着陆地与空气之间的能量流动,对气候、水文、生态和生物地球化学的许多研究都有重要意义,得到了广泛的重视^[3-10],也客观反映了农业生产的热量资源状况。在此需要特别指出:一方面,气温有别于陆面温度(LST),气温是表示空气冷热程度的物理量,常用的气温值是在距地表 1.5 m 高处的百叶箱中干球的温度,而用卫星探测资料反演的 LST 则是在一定下垫面空间上的表层水、植被、土壤、岩石等的表面(通常只有几 μm 穿透深度)平均温度。另一方面,气温与 LST 又有一定的联系,由于陆地与大气之间通过热辐射和热传导等方式相互输送热量,故两者存在一定的相关性。在正午以后卫星过境时,LST 和气温的差值在干旱地区可以达到 10~30^{°C},在植被覆盖状况好的地区差值仅为 0~5^{°C}^[11]。

由于卫星遥感是从高空探测地面,所以云是客观存在的影响因素,因此,不可能采用处理常规气象资料的方法直接进行多年平均值的计算。由于云的分布具有空间不均匀性,通过选择适当模板的方式可获得某些晴空几率相对较高的局地区域。通过这些区域的多年平均,即可获得寻找多年 LST 平均图的参照标准,进而对所有历史 LST 实况图像中与参照标准模板对应的区域进行普查,找出对应区域与参照模板最接近的一幅实况图作为白天 LST 平均图的原图,然后再对该原图进行云剔除,并计算、填补该云区的 LST 平均值,最终获得广西全境的 LST 平均图。

2 数据来源及 LST 算法

2.1 数据来源

本文所用 NOAA/AVHRR 1B 数据和部分 0.01°×0.01° 等经纬度分通道投影数据由国家卫星气象中心和广西气象局遥感中心提供, 现有完整的资料时间段为 1997—2000 年 1 月、4 月、7 月、10 月共 4 a。

2.2 LST 的反演方法

LST 常用的反演算法有分裂窗算法(split windows algorithm)、热惯量算法(thermal inertial method)和温度、比辐射率分离算法(separate temperature and emissivity method)等。

分裂窗算法依据普朗克黑体辐射定律, 应用 NOAA/AVHRR 资料, 在反演中针对大气和比辐射率影响做出一些合理假设, 是有效的理论反演方法之一, 国内外研究较多, 见报道的相关算法有 10 多种, 应用较为广泛^[12-16]。延昊等^[15]、覃志豪等^[17]通过 5 种大气模式对反演的 LST 精度进行了模拟计算, 分析结果表明 Becker 等^[13]的分裂窗算法是一种比较好的算法, 误差在 2~4 °C 之间^[18-20]。据此, 本文选用 Becker 等^[13]的算法计算 LST, 计算公式如下

$$T_s = 1.274 + (T_4 + T_5) \{ 1 + [0.156\,16(1 - \epsilon) / \epsilon] - 0.482(\Delta\epsilon / \epsilon^2) \} / 2 + (T_4 - T_5) \{ 6.26 + [3.98(1 - \epsilon) / \epsilon] + 38.33(\Delta\epsilon / \epsilon^2) \} / 2。 \tag{1}$$

式中, T_s 为各网格点的陆面温度值(单位: K), T_4, T_5 为用热力学温度表示的大气上界的亮温, ϵ 为地表比辐射率, $\epsilon = (\epsilon_4 + \epsilon_5) / 2$, $\Delta\epsilon = (\epsilon_4 - \epsilon_5)$, ϵ_4, ϵ_5 为 4、5 通道的地表比辐射率。

Griend 等^[21]通过地面实验发现, 归一化植被指数 I_{NDV} 与比辐射率有很好的相关性, 相关系数为 0.941, 故可以通过 I_{NDV} 等效计算 ϵ_4, ϵ_5 。根据 Josef 等^[22]、Salisbury 等^[23]的工作, ϵ_4, ϵ_5 可采用下式计算

$$\begin{aligned} \epsilon_4 &= 0.989\,7 + 0.029\ln I_{NDV}, \\ \epsilon_5 &= 0.979\,5 + 0.015\,56\ln I_{NDV}。 \end{aligned}$$

式中

$$I_{NDV} = (R_{CH2} - R_{CH1}) / (R_{CH2} + R_{CH1})。 \tag{2}$$

其中, R_{CH1}, R_{CH2} 分别为可见光和近红外通道反射率。

3 LST 平均图的处理

3.1 LST 实况图的制作

根据(1)式生成 LST 图像, 首先需要生成分通道可见光和红外光谱文件, 处理步骤如下。

(1) 分通道光谱数据的获取

应用国家卫星气象中心提供的“极轨卫星资料接收与处理系统”, 从 NOAA/AVHRR 1B 文件中提取广西区域范围内各通道的光谱资料, 进行投影变换后生成等经纬度图像形式的局地文件。

(2) 物理量计算

根据通用的 NOAA/AVHRR 定标公式^[16]

$$E_i = A_i I_i + B_i, (i = 1, 2, \dots, 5), \tag{3}$$

将各通道的探测值 I_i 换算成物理量 E_i 。即将红外通道的探测值 I 转换为光谱辐射率, 可见光和近红外通道的探测值转换为反射率。式中 A_i, B_i 为定标系数。

(2) 太阳天顶角订正

对 1、2 通道的可见光和近红外波段数据采用 $H_i = E_i / \cos z$, ($i = 1, 2$), 进行太阳天顶角订正^[16]。式中 z 为探测点的太阳天顶角, E_i 为经 (3) 式计算的对应通道不同高度角的反射率, H_i 为 1、2 通道反射率, 供 (2) 式用。

(3) 亮温计算

将 3、4、5 通道的辐射率 E_i 代入下式^[16]

$$T_i = C_2 \nu / \ln(C_1 \nu^3 / E_i + 1), i = 3, 4, 5.$$

计算出亮温 T_i , 供 (1) 式使用。式中 C_1 、 C_2 为玻尔兹曼常数, ν 为对应通道的红外中心波数。

(4) LST 实况图的生成

根据 (1) 式算出的各网格点的 T_s 值是一组有理数, 不能直接作为图像显示。为此, 采用变换公式

$$r_{ij} = a(T_s - b) + 1, \quad (4)$$

将空间各网格点的 T_s 转换为可显示的灰度级像元 r_{ij} , r_{ij} 为 0 ~ 255 的整数。式中, $b = \min(\{T_s\})$, $a = 254 / (\max(\{T_s\}) - b)$ 。

由于卫星只有在无云的晴空条件下才能直接探测地表温度, 因此, 还需要剔除有云像元。本文采用可见光和红外通道组合方法进行云检测^[24], 并规定

$$r_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{有云像元;} \\ r_{ij}, & \text{晴空像元。} \end{cases} \quad (5)$$

从而获得逐日各时次的 LST 实况图。

(4) 式的反算公式为

$$T_s = (r_{ij} - 1) / a + b. \quad (6)$$

3.2 平均 LST 样区的确定

由于卫星遥感不可能获得多年逐日的连续晴空资料, 故无法用常规统计方法直接计算全区 LST 的多年平均值。由气象学原理知, 下垫面的最高、最低温度均出现在晴空条件下, 因此, 只要有足够的晴空样本资料, 即可较有效地求得它的多年平均值。但这并不表明只要有足够多的样本就可以直接进行累加平均。这是因为, 一是云系分布具有空间的非均匀性, 各地的晴空概率不尽相同, 二是不同天气系统下晴空对当地下垫面的加热作用也有差异, 故直接计算缺乏空间可比性。

根据统计学原理知, 样本越多, 代表性越好。为使统计平均值尽量接近真值, 首先采用模板分析方法寻找晴空概率最大的局地区域, 并算出该区域的多年 LST 平均值。计算过程如下。

(1) 模板的构造

对于大小为 $m \times n$ 的图像 R , 定义模板

$$P = \{r_{ij}\}_{p \times p}; i, j = 1, 2, \dots, p. \quad (7)$$

该模板最小为 2×2 , 依次为 $3 \times 3, \dots, p \times p$, 且 $2 \leq p < \min(m, n)$ 。

(2) 局地晴空区频率普查

定义晴空频谱统计矩阵为 $Q_p = \{q_{f, g, p}\}_{m-p+1, n-p+1, \min(m, n)-1}$, 对所有 LST 样本图, 用 (7) 式模板逐日进行晴空区普查。当滑动模板 P 中取 $i = 1$ 且 $j = 1$ 对应 R 中的 f_1, g_1 位置时, 则该模板区域对应 Q_p 中的 f_1, g_1, p 点。根据 (5) 式条件, 当 P 中

$$\{r_{ij}\} \neq 0. \quad (8)$$

即模板内无云时, 将 Q_p 中的 $q_{f_1, g_1, p}$ 频率记数值加 1, 否则不予统计。据此即可获得不同模板下的晴空频谱统计矩阵。

(3) 统计样区的确定标准

选取平均值统计样区的原则: 一是晴空样本越多越好, 设临界晴空率为 q_0 ; 二是空间面积即所选模板的 p 值越大越好, 设临界模板为 p_0 。则符合作为平均统计样区的晴空率需满足

$$q \geq q_0. \tag{9}$$

在此条件下, 样区统计模板 P 的取值区间为 $[2 \times 2, p_0 \times p_0]$ 。

根据广西现有的 NOAA 卫星资料, 通过上述频率普查综合分析后得出, 全年及 7 月、10 月以 $q_0 > 55\%$ 为宜, 4 月以 $q_0 > 45\%$ 为宜, 1 月以 $q_0 > 35\%$ 为宜, 以此标准得到的临界模板为 5×5 , 即样区模板在 $[2 \times 2, 5 \times 5]$ 。

(4) 统计样区的空间定位

构造一个与 R 相同的 $m \times n$ 的矩阵 S , 用以标注满足 (9) 式条件的样区位置。

以 Q 为依据, 取 $p = p_0 \sim 2$ 为序, 将满足 (9) 式条件的 q 标注到 S 的对应位置上, 且 p 值大者优先, 由此即可得到统一的取样位置。

3.3 平均 LST 图的生成

(1) 统计样区平均图的求算

构造一个与 R 相同的 $m \times n$ 的空矩阵 U , 以 S 中标注的取样位置对所有实况图 R 进行重新普查。对于序号为 k 的实况图, 当 R 中 f, g 位置的模板为 P , 且 $\{r_{ij}\}$ 满足 (8) 式, 则计算

$$u^k(f, g) = u^{k-1}(f, g) + r_k(f, g), f = f_1, \dots, f_1 + p - 1; g = g_1, \dots, g_1 + p - 1.$$

当该普查过程结束后, 对 U 中的像素用下式计算

$$u(i, j) = u(i, j) / s(i, j); u(i, j) > 0; i = 1, m; j = 1, n.$$

即可得到所选样区的平均图 U 。

(2) 平均 LST 原图的搜索

根据中值定理, 在原序列之中必存在与平均值最相近的数。由此可知, 在所有 LST 样本图中, 必可找到与实际平均图最相近的实况图。搜索原则是样区平均图与实况图中对应区域的总方差最小。搜索方法是:

1) 构造 U 与 R 的方差矩阵 V , 根据 U 计算各样区所有对应像素的方差 $v(i, j)$ 。

$$v_k(i, j) = (r(i, j) - u(i, j))^2. \tag{10}$$

其中, $r(i, j) > 0$, 且 $u(i, j) > 0$, k 为实况图 R 的序号。

2) 确定 $v_k(i, j) > 0$ 的最小有效像元数 v_p , 当 V_k 中的 $v_k(i, j) > 0$ 的像元数 $> v_p$ 时, 则表明序号为 k 的实况图可作为检索平均图的样本, 记该 U_k 为 U_l , 并计算其平均方差 W_l , 否则剔除。设 U 中的有效像元数为 u_p , 经统计分析, 取 $v_p \geq u_p \times 85\%$ 效果较好, 可保证有足够的样本统计量。

3) 设所选可供选取平均图原图的样本图量为 W , 根据条件

$$W_l = \min(W_1, W_2, \dots, W_i, \dots, W_w)$$

则 W_l 所对应的实况图 R_l 即可作为广西 LST 平均图的原图。当有两幅以上相近 R_l 时, 则以晴空区大者优先。

4) 原图 R_l 中云区的填补

以 R_l 中云区所在位置为模板 R_0 , 要求该模板大于云区范围, 以确保有足够的相同晴空对照区。在 R_0 中选取适当个数和大小的子模板 R_v , 优先从历史相近时段中搜索对应 R_0 区为晴空的实况图, 根据 (10) 式选取总方差最小的一幅实况图 R_{01} , 并根据子模板 R_v 对应区域的相关统计, 用线性回归求出两者的拟合函数, 进而根据这一拟合函数对 R_{01} 中对应 R_0 的区域灰度值进

行订正处理, 并根据像元对应关系填补 R_0 中的云区。

以此逐次订正处理, 即得到广西全区的 LST 平均图。为与历史区划图比较, 制作了广西全年和冬季(1 月)、夏季(7 月)白天的 LST 平均(图 1~3, 见图版)。

4 广西下垫面热量资源分析

广西地处中、亚热带, 位于 104. 48~112. 07 E, 20. 9~26. 3 N 之间的低纬地区, 气候温暖, 热量资源丰富。年平均气温大部地区为 17~22 , 其地域分布特征总体是自北向南逐渐升高, 由河谷平原向山区逐渐降低, 最北部的热量资源与最南端的北海相比较, 年均温差 6. 2 , 同纬度、同海拔高度相比, 桂西气温高于桂东。广西尽管下垫面复杂, 气候多变, 但从图

1(见图版)和图 4 对比分析的结果显示, 广西下垫面热量资源分布规律与气温的分布基本一致, 总体上也是自北向南递增、由河谷平原向山区递减。从图 1(见图版)可见, 广西大部地区的年平均陆面温度 LST 在 9. 6~40. 2 之间, 南、北差异明显, 河谷平原和山区之间变化较大。其中北海、合浦等沿海地区、左右江河谷、武鸣及桂中盆地的局部地区 LST 最高, 可达 30 以上, 是广西下垫面热量资源最丰富的地区; 桂南低平原区及桂中盆地是仅次于沿海和左右江河谷地带的下垫面热量资源次丰富地区, 其 LST 普遍在 27~30 之间; 而广西最北端的资源县以及北部的猫儿山、元宝山、宝界山, 中部的圣堂山、大明山, 西部的岑王老山、金钟山等地, 由于受纬度和海拔高度的影响, 下垫面温度最低, 年平均 LST 最低, 平均在 20 以下。

广西下垫面温度随季节的变化具有明显的冬暖夏凉的特征, 冬季各地平均 LST 都在 7 以上, 植被可常年生长; 夏季海拔较高的山区, 平均 LST 最低可达 13~19 。从图 2(见图版)可看出, 广西 1 月的 LST 分布规律与年平均 LST 分布基本相似, 都是随纬度的增加而降低。这主要与冬半年受冬季风的影响有关, 尤其是隆冬季节, 广西冬季风较强, 南北温差明显。1 月是广西一年中最冷的月份, 全区 LST 在 7. 5~37. 1 之间, 其中桂北、桂西山区 < 20 , 左右江河谷、桂南大部、桂中盆地的部分地区为 29~37. 1 , 其余地区在 20~29 之间。7 月份是广西一年中最热的月份, 由于受副热带高压的影响, 副高脊经常控制的地区下垫面温度高, 因此, 7 月平均 LST 随纬度的分布特点是南北低、中间高(图 3, 见图版)。LST 最高值出现在桂中盆地, 最高可达 49. 6 , 桂南沿海虽然纬度低, 但由于受海洋性气候的影响, 下垫面温度低于桂中盆地, 如北海、合浦等地, LST 大致在 28~37 之间。7 月 LST 随海拔高度的增加而降低, 山区边缘 LST 变化梯度明显, 高海拔地区表现出明显的凉夏气候。如广西东北部的山马塘, 北部的猫儿山、真宝顶, 中部的圣堂山及西南部的暑良岭等地, 7 月平均 LST 都在 13~22 之间。

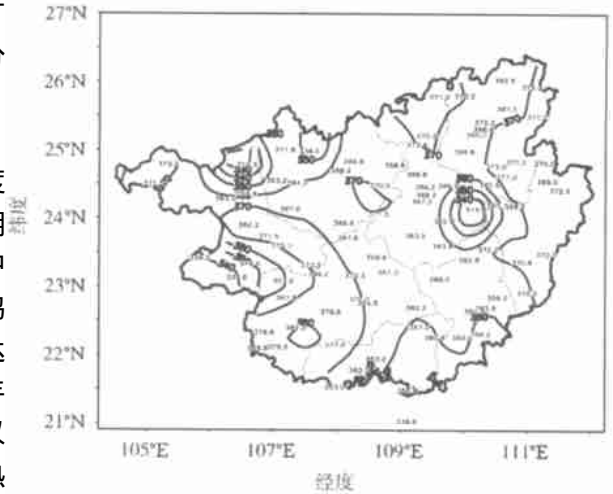


图 4 广西同期年平均气温分布

Fig. 4 Annual mean air temperature of Guangxi from 1997 to 2000

5 结 论

(1) 平均 LST 与平均气温的宏观变化规律基本一致, 其空间分布特征与广西的地形地貌具有很好的一致性, 其年际分布特征与广西南北不同的气候特征具有很好的一致性。

(2) 平均 LST 比地面站观测的资料更精细、客观、实用, 将是农业气候区划中有效的热量区划指标。

(3) 给出的卫星遥感 LST 平均图的制作方法, 同样适用于晴空条件下其他要素平均图的处理与制作。

(4) 由于资料年代较短, 加之现有资料均为白天且以中午的资料为主, 故所得的 LST 平均图数值偏高, 与真值的误差较大, 但这不影响该方法的应用, 只要增加足够全天候的样本量即可有效消除该误差。

参考文献:

- [1] 欧阳海, 郑步忠, 王雪娥. 农业气候学[M]. 北京: 气象出版社, 1990: 63-65.
- [2] Sellers P J, Hall F G, Asrar D E S, et al. The first ISLSCP Field Experiment(FIFE)[J]. Bull Amer Meteor Soc, 1988, 69(1): 22-27.
- [3] Camillo P J. Using one-or two-layer models for evaporation estimation with remotely sensed data[C]//Schmugge T J, Andre J C. Land Surface Evaporation: Measurements and Parameterization. New York: Springer-Verlag, 1991.
- [4] Schmugge T J, Becker F. Remote sensing observations for monitoring of land-surface fluxes and water budgets[C]//Schmugge T J, Andre J C. Land Surface Evaporation: Measurements and Parameterization. New York: Spring-verlag, 1991.
- [5] Running S W. Computer simulation of regional evapotranspiration by integrating landscape biophysical attributes with satellite data[C]//Schmugge T J, Andre J C. Land Surface Evaporation: Measurements and Parameterization. New York: Spring-verlag, 1991.
- [6] Zhang L R, Lemeur, Goutorbe J P. A one-layer resistance model for estimating regional evaporation using remote sensing data[J]. Agric For Meteorol, 1995, 77: 241-261.
- [7] Running S W, Justic C, Salomonson V, et al. Terrestrial remote sensing science and algorithms planned for EOS/MODIS[J]. Remote Sens Environ, 1994, 15(17): 3 587-3 620.
- [8] Cooper D I, Asrar G. Evaluating atmospheric correction models for retrieving surface temperatures from the AVHRR over a tall grass prairie[J]. Remote Sens Environ, 1989, 10(27): 93-102.
- [9] Sobrino J A, Coll C, Caselles V. Atmospheric correction for land surface temperature using NOAA-11 AVHRR channels 4 and 5[J]. Remote Sens Environ, 1991, 12(38): 19-34.
- [10] Vidal A. Atmospheric and emissivity correction of land surface temperature measured from satellite using ground measurements or satellite data[J]. Int J Remote Sens Environ, 1991, 12(12): 2 449-2 460.
- [11] Stowe L L, Wellemeyer C G, Eck T F, et al. The nim bus-7 cloud data processing team. nim bus-7 global cloud climatology, part 1, algorithms and validation[J]. J Climate, 1988, 1: 445-470.
- [12] Price J C. Land surface temperature measurements from the split window channels of the NOAA-7 AVHRR[J]. J Geophys Res, 1984, 89: 7 231-7 237.
- [13] Becker F, Li Z L. Towards a local split window method over land surface[J]. Int J Remote Sens, 1990, 11(3): 369-393.
- [14] 徐希孺, 陈良富. 陆面温度反演的新进展[J]. 国土资源遥感, 1999, 41(3): 47-50.
- [15] 延 昊, 王长耀, 牛 铮, 等. 通过 AVHRR 数据研究中国陆面温度分异规律[J]. 遥感技术与应用, 2001, 16(1): 18-23.
- [16] 张 霞, 朱启疆, 闵祥军. 反演陆面温度的分裂窗口算法与应用分析[J]. 中国图像图形学报, 1999, 4(7): 595-599.
- [17] 覃志豪, Zhang Minghua, Arnon K, 等. 用 NOAA/AVHRR 热通道数据演算地表温度的劈窗算法[J]. 国土资源遥感,

2001, 48(2): 33-42.

- [18] Gupta R k, Prasad S, Vrseshasai M, et al. The estimation of surface temperature over an agricultural area in the state of Haryana and Panjab, India, and its relation with the normalized difference vegetation index(NDVI), using NOAA-AVHRR data[J]. Int J Remote Sens, 1997, 18(18): 3 729-3 741.
- [19] Becker F. The impact of spectral emissivity on the measurement of land surface temperature from a satellite [J]. Int J Remote Sens, 1987, 8(10): 1 509-1 522.
- [20] Kalluri S N V, Dubayah R O. Comparison of atmospheric correction models for thermal bands of the advanced very high resolution radiometer[J]. J Geophys Res, 1995, 100: 25 411-25 418.
- [21] Van De Griend A A, Owe M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces[J]. Int J Remote Sens, 1993, 14(6): 1 119-1 121.
- [22] Josef C, Hung L, Li Z Q, et al. Multitemporal, multichannel AVHRR data sets for land biosphere studies-artifacts and corrections[J]. Remote Sens Environ, 1997, 60(1): 35-57.
- [23] Salisbury J W, D 'Aria D M. Emissivity of terrestrial material in the 3~5 mm atmospheric window[J]. Remote Sens Environ, 1994, 47(2): 345-361.
- [24] 张 红, 范天锡. 卫星遥感晴空像元检测综述[J]. 气象科技, 1998, 26(4): 27-32.

Methods for Using the LST Retrieved from Satellite Remote-sensings to Investigate Agroclimatical Thermal Distribution

YANG Xin^{1,2}, SUN Han², SU Yong-xiu²,
HE Li², MA Lun-ji²

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. Remote Sensing Application and Validation Base of NSNC, Nanning 530022, China)

Abstract: Based on the characters of semi-tropical climate, topography, vegetation and the NOAA/AVHRR data in Guangxi, the split-window algorithms for retrieving the LST (land surface temperature) from satellite are analyzed and compared. The results suggest that the Becker&Li algorithm is suitable to retrieve the day-time LST in Guangxi. The clear-sky day-time-averaged LST in Guangxi is imaged by using the Becker&Li algorithm. We find out the approach of calculating annual mean LST by employing appropriate templates. For the cloudy region, the pixel values are substituted by the image data of same period and close time after being calculated. The calculation is based on the correlation of clear sky image with cloudy one. At last, the clear-sky day-time-averaged LST image of Guangxi is obtained. Analysis results indicate that the LST image made by the satellite remote sensing in this research is more extensive, more particular and clearer than that from the second agroclimatical regionalization in describing the distribution of thermal resource. LST is a more effective factor of thermal regionalization.

Key words: satellite remote-sensing; averaged LST image; remote-sensing retrieval

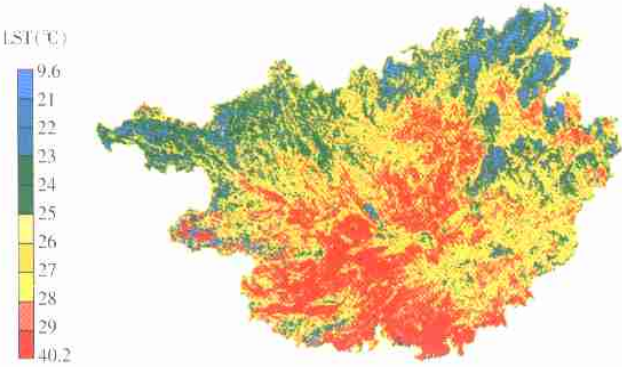


图1 广西 LST 年平均图

Fig.1 Annual mean LST in Guangxi from 1997 to 2000

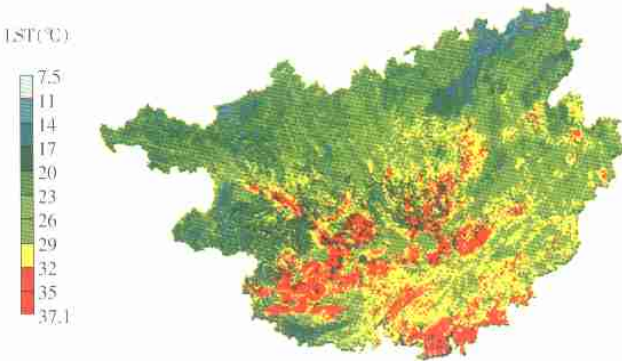


图2 广西冬季(1 月份)的 LST 平均图

Fig.2 Winter(January)-averaged LST of Guangxi from 1997 to 2000

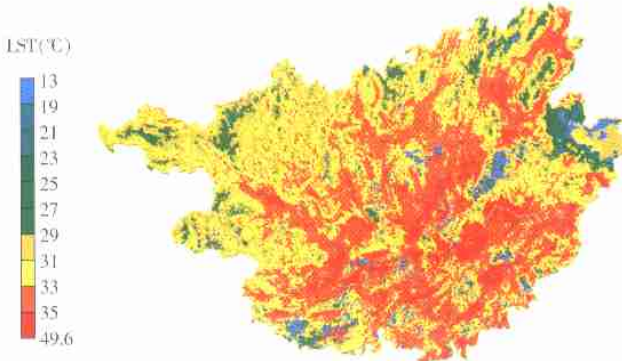


图3 广西夏季(7 月份)的 LST 平均图

Fig.3 Summer(July)-averaged LST of Guangxi from 1997 to 2000