

文章编号: 1004-4574(2009) 01-0112-06

广西喀斯特干旱农业区干旱遥感监测模型研究

匡昭敏^{1,2,3}, 朱伟军¹, 黄永璘^{2,3}, 杨 鑫^{2,3}, 何 立^{2,3}, 孙 涵^{2,3}

(1 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044 2 广西气象减灾研究所, 广西 南宁 530022)

3 国家卫星气象中心遥感应用试验基地, 广西 南宁 530022)

摘要: 广西中部喀斯特平原区是广西重要的粮食生产基地, 但旱灾已成为该地区经济发展的障碍。利用 EOS MODIS 数据, 采用植被状态指数 (I_{VC}) 和温度条件指数 (I_{TC}), 构建了干旱指数 I_D 的遥感监测模型, 统计分析了 I_D 与农业受旱率的相关系数, 从而确定了模型中各参数的权重系数。将该模型应用于 2005 年秋旱监测, 经与旱情实况及前人研究成果进行对比分析, 验证了干旱指数 I_D 的有效性。通过对 I_D 随 I_{TC} 和 I_{VC} 变化的敏感性评价, 结果表明, I_{TC} 和 I_{VC} 都能反映旱情变化, 但 I_{TC} 反映旱情的敏感性高于 I_{VC} , 以 I_{TC} 和 I_{VC} 为因子构建的干旱遥感监测模型适用于广西中部喀斯特干旱农业区的旱情遥感监测。

关键词: 干旱; 遥感监测; 喀斯特; 广西

中图分类号: TP 79; P426

文献标识码: A

Research on remote sensing drought monitoring model for Guangxi karst arid agricultural area

KUANG Zhao-min^{1,2,3}, ZHU Wei-jun¹, HUANG Yong-lin^{2,3}, YANG Xin^{2,3}, HE Li^{2,3}, SUN Han^{2,3}

(1 Nanjing University of Information Science, Nanjing 210044 China 2 Guangxi Meteorological Disaster Mitigation Institute,

Nanning 530022 China 3 Remote Sensing Application and Validation Base of National

Satellite Meteorological Center, Nanning 530022 China)

Abstract The karst plain area in middle Guangxi is an important grain production base but drought has become serious impediment to regional development. Land surface temperature dataset and NDVI dataset derived from EOS/MODIS were used to calculate vegetation condition index and temperature condition index and a dryness index I_D was constructed. The weight of each parameter was determined by analyzing the correlative coefficients between dryness index I_D and agriculture drought percentage. Using the I_D , the spatiotemporal distribution of autumn drought in middle Guangxi karst plain area in 2005 was studied. Spatiotemporal pattern of I_D was compared with the real drought condition data from the observatories around Guangxi. Then, the sensitivity of I_D to temperature condition index and vegetation condition index was evaluated. The results show that the change of dryness are more sensitive to temperature condition index than to vegetation condition index, and dryness indexes I_D based on temperature condition index and vegetation condition index are reasonable for the middle Guangxi karst plain area.

Key words drought; remote sensing monitoring; karst Guangxi

利用常规气象资料进行的干旱监测, 由于站点稀少, 代表性不够, 难以实现大范围、实时、动态监测。而

收稿日期: 2007-03-28 修订日期: 2007-07-10

基金项目: 广西气象局重点科研项目 (2004-233-2)

作者简介: 匡昭敏 (1968-), 女, 高级工程师, 主要从事应用气象及环境遥感研究。E-mail: weijun@nuist.edu.cn

利用卫星数据进行干旱遥感监测,则具有大范围、宏观、动态的优势。目前常用的干旱遥感监测方法主要有热惯量法^[1]、亮温法^[2]、植被供水指数法^[3]、差值植被指数法^[4]、缺水指数法^[5]等。这些方法物理意义清楚,为干旱遥感监测提供了依据。本文利用 EOS/MODIS数据,结合气象台站的常规观测资料,选择广西中部喀斯特干旱农业区为研究区域,从遥感信息的综合性角度出发,以植被状况指数和温度条件指数构建干旱遥感监测模型,进行干旱遥感监测方法研究。

广西中部喀斯特干旱农业区主要包括河池地区东部、南宁地区东北部、桂林的永福县和柳州地区的峰林谷地和峰林平原^[6](图1)。该区农业人口众多,占总人口75.12%,耕地面积为601620 km²,占总面积13.89%,其中旱地占耕地面积的46.57%。对于以农业耕作为主、农业人口众多的广西喀斯特干旱农业区而言,干旱是制约农业和社会经济发展的最为重大的问题之一。因此,对干旱进行动态监测,及时准确地反映旱情发生的范围、程度及其发展变化,为各级政府制定合理的防旱、抗旱措施提供科学依据,具有重要意义。

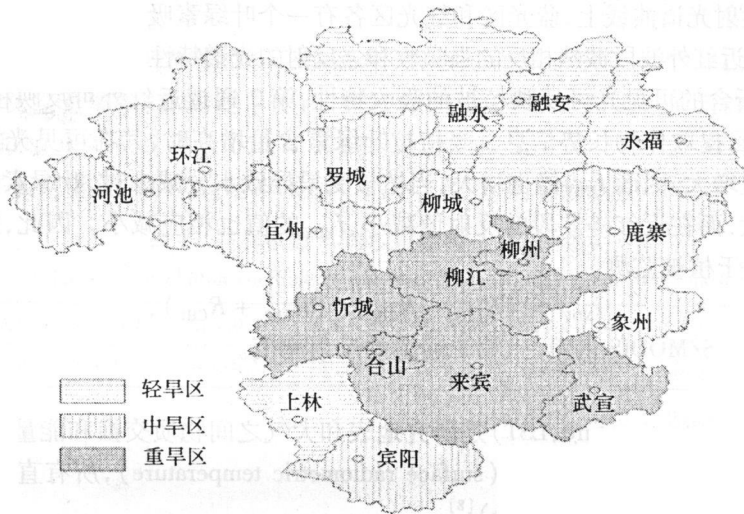


图1 广西喀斯特干旱农业区分布及干旱程度划分示意图

Fig 1 Distribution of karst arid agricultural area in Guangxi and drought grade zoning

1 干旱成因

1.1 水文地质、地貌因素

广西喀斯特干旱农业区特殊的喀斯特水文地质、地貌因素是造成干旱的主导原因。由于地下形成众多的溶洞、溶沟、溶隙、漏斗、地下河和落水洞,加上喀斯特区一般土层较薄,大部分岩石裸露,故大气降水迅速通过溶隙、漏斗、落水洞等汇集于地下河;而形成于浅薄的土壤覆盖层中的土壤水也迅速被蒸发掉;且埋藏很浅的碳酸盐岩地层又阻止了地下水通过毛细管作用对上层土壤的水分补充,故地表干旱严重。因此,正是这一特殊地理地质条件,使得广西喀斯特干旱农业区尽管地表径流量很丰富,但引灌地表水利工程效益却不高,工程漏水以及农田耗水量大,干旱问题难以解决。

1.2 大气环流

广西地处东亚季风气候区,影响广西的大气环流主要是季风环流。季风气候区的特点是降雨变率大,尽管干旱原因十分复杂,但降水的多少及其分配,往往决定某一地区的干旱程度。

春季,当东半球中高纬度大气环流为二脊一槽型,即西欧及贝加尔湖地区以东为脊区,乌拉尔山一带为槽区而在东亚地区中高纬度为宽广的正变高压区,此时中高纬度有一个东西向的高压区,阻止了北方冷空气南下。因而,锋面活动少,降水也就少,从而导致春旱。

秋季,当亚欧中高纬度大气环流为二槽一脊型,即西欧及贝加尔湖地区各为一槽,乌拉尔山一带为脊区,而中低纬度一致为正变高压区,此时中低纬度大气环流平直,西风指数较强,华南地区很少冷空气活动(天气系统比较单一),因而,降水较少,从而导致秋旱^[7]。

总之,广西喀斯特干旱农业区地表覆盖层薄且极不均匀,特殊的水文地质条件使地表蓄水、保水能力非常弱,造成了广西喀斯特平原地表干旱,以及水库、渠道渗漏和农田耗水量大的问题。综合降水与地质地貌条件及水利措施、效益等因素分析,认为气候因素是发生干旱的基本原因,而独特的喀斯特地质则是干旱形成的重要因素。

2 研究方法

植被指数 (NDVI), I_{NDV} , 与地表温度 (LST), I_{LS} , 是描述土地覆盖特征的两个重要遥感参数,这两个数据的合理融合,可以衍生出更丰富、清晰的地表信息,有助于更加准确、有效地认知土地覆盖/土地利用的时空变化规律。

2.1 植被指数

典型的绿色植物发射光谱曲线上,蓝光区和红光区各有一个叶绿素吸收带,近红外区则有一个强反射峰,绿色农作物在可见光和近红外波段截然相反的强吸收和强反射的光谱特性正是农作物旱灾监测的理论依据。

MODIS第1通道所含的可见光可反映植被的吸收特性,第2通道近红外可反映植被的反射特性。用这两个波段的数学组合,可提取作物长势信息。当植被叶绿素含量增高时,其在可见光波段的反射值减小,而在近红外波段的反射值增大,因而 I_{NDV} 值也增大;当植被受旱导致水分减少时,叶绿素含量相应减小,其在可见光波段的反射值增大,而在近红外波段的反射值减小, I_{NDV} 的值也相应减小。因此,第一、第二通道组合而成的 I_{NDV} 常被有效地用于植被监测。

$$I_{NDV} = (R_{CH2} - R_{CH1}) / (R_{CH2} + R_{CH1}), \quad (1)$$

式中 R_{CH1} , R_{CH2} 分别为 EOS MODIS 的第一、第二通道的反射率值。

2.2 地表温度

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。在遥感学上,将其定义为由辐射测定的表面温度 (surface radiometric temperature), 所有直接辐射的表面温度 (ensemble directly radiometric surface temperature)^[8]。

对裸土来说土地表面温度指的是土壤表面温度,浓密植被覆盖的土地表面温度可以认为是植物冠层的表面温度。植物冠层温度升高是植物受到水分胁迫和干旱发生的最初指示器,这一变化甚至在植物为绿色时就可能发生。这是因为植物叶片气孔的关闭可以降低由于蒸腾所造成的水分损失,进而造成地表潜热通量的降低,根据能量平衡原理,地表的能量必须平衡,从而将会导致地表感热通量的增加。感热通量的增加又可以导致冠层温度的升高。因此,土地表面温度可用于干旱监测。

覃志豪等^[9]认为,从农业旱灾监测所需要的地表温度快速反演角度来看, Q_{in} 等的两因素模型算法较好,这一算法只需两个因素 (大气透射率和地面辐射率) 作为演算的参数。 Q_{in} 等^[10] 提出的两因素模型是根据星上亮温的线性组合来反演地表温度的,其计算公式如下:

$$T_s = A_0 + A_1 T_{31} - A_2 T_{32}, \quad (2)$$

式中的 T_s 为地表温度 (K), T_{31} , T_{32} 分别为 MODIS 通道 31, 32 的亮温值。具体的参数求算参考文献 [9] 进行,详细过程在本文不再细述。

2.3 植被状态指数和温度条件指数

Kogan (1990) 等^[11] 第一次提出了植被状态指数 (VCI), I_{VC} 的概念,并给出了 I_{VC} 的定义。Li 等^[12] 认为 I_{NDV} 适用于研究大尺度范围的气候变异,而 I_{VC} 适用于估算区域级的干旱程度。但 I_{NDV} 和 I_{VC} 都仅仅考虑由于水分胁迫导致 I_{NDV} 降低的状况,未考虑到其它因素如温度导致 I_{NDV} 降低的现实。Kogan (1995)^[13] 第一次提出了温度条件指数 I_{TC} 的概念,并给出了 I_{TC} 的定义式。

植被状态指数 (vegetation condition index), I_{VC} 的定义为:

$$I_{VCj} = 100 (I_{NDVj} - I_{NDVmin}) / (I_{NDVmax} - I_{NDVmin}), \quad (3)$$

式中, I_{NDVj} 为某一特定年第 j 时期的 I_{NDV} 值, I_{NDVmax} 和 I_{NDVmin} 分别代表所研究年限内第 j 时期 I_{NDV} 的最大值和最小值。式 (3) 的分母部分是在研究年限内第 j 时期植被指数的最大值和最小值之差,它在一定意义上代表了 I_{NDV} 的最大变化范围,反映了当地植被的生境;分子部分在一定意义上表示了某一特定年第 j 时期的当地气象、植被信息,若 I_{NDVj} 和 I_{NDVmin} 之间差值小,表示该时段作物长势很差。

温度条件指数 (temperature condition index), I_{TC} 的定义与 I_{VC} 的定义相似, 但它强调了温度与植物生长的关系, 即高温对植物生长不利。 I_{TC} 的定义:

$$I_{TC} = 100 (T_{max} - T_j) / (T_{max} - T_{min}), \quad (4)$$

式中, T_j 为某一特定年第 j 时期地表温度值, T_{max} 和 T_{min} 分别表示所研究年限内第 j 时期地表温度的最大值和最小值。 I_{TC} 愈小, 表示愈干旱。

2.4 干旱遥感监测模型

$$I_D (\text{干旱指数}) = R_1 I_{VC} + R_2 I_{TC}, \quad (5)$$

式中, $R_1 + R_2 = 1$, R_1, R_2 为权重系数。

由于 I_{NDV} 作为水分胁迫指标表现出滞后性^[14], 温度作为水分胁迫指标具有更高的时效性^[15], 因而本模型可以根据对干旱研究的着重点不同而给 R_1, R_2 灵活赋值, 若进行干旱灾害评估, 可给植被状态指数的权重系数 R_1 赋予较大的值, 而对于干旱实时监测, 则赋予 R_2 较大的值。

2.5 权重系数 R_1, R_2 的确定方法

本文采用 2004 年 9-11 月的数据作为试验数据, 对 R_1, R_2 从 0 到 1 取值, 以 0.1 为步长分别计算干旱指数 I_D , 并统计各地农业受旱率 (作物受旱面积/作物种植总面积) 与 I_D 的相关系数, 结果见表 1。从表中可以看出, 当 R_1, R_2 分别取值 0.4, 0.6 和 0.6, 0.4 时相关系数相应为 -0.4813 和 -0.4849 为最大值, 考虑到本研究目的是进行干旱实时监测, 所以确定本模型中的 R_1, R_2 分别取值 0.4, 0.6。

表 1 干旱指数 I_D 与权重系数 R_1, R_2 的相关系数

Table 1 Correlation coefficients between drought index I_D and weights R_1, R_2

R_1, R_2 值	0.1, 0.9	0.2, 0.8	0.3, 0.7	0.4, 0.6	0.5, 0.5	0.6, 0.4	0.7, 0.3	0.8, 0.2	0.9, 0.1
相关系数	-0.4189	-0.4667	-0.4677	-0.4813	-0.4691	-0.4849	-0.4768	-0.3839	-0.4512

3 结果与分析

采用的 2001-2005 年 EOS/MODIS 卫星数据分别来自于国家卫星气象中心和广州卫星地面站, 并使用国家卫星气象中心下发的 EOSSHOP 软件进行卫星数据的定标、投影等预处理, 最终生成包含 36 个通道, 250m 分辨率的覆盖桂中旱区的 LDF 卫星数据文件。

由于 9-11 月是广西夏秋作物的主要生长季也是秋旱发生期, 本文利用 2005 年 9-11 月晴空卫星数据研究广西中部喀斯特干旱农业区 2005 年秋旱的等级分布情况。

3.1 旱情等级分布图

根据式 (5), 以 I_D 作为旱情分级指标, 将旱情划分为 5 级, 分别是: 正常 ($I_D > 102$), 轻旱 ($95 < I_D < 102$), 中旱 ($90 < I_D < 95$), 重旱 ($85 < I_D < 90$), 极旱 ($0 < I_D < 85$)。由此得到 2005 年秋旱期间 9 月 23 日、10 月 10 日、11 月 20 日广西中部喀斯特干旱农业区的旱情等级分布图 2~4。由图可以看出重旱区主要分布在来宾、合山、忻城、武宣、柳江、柳州等县市, 9 月下旬旱情发展, 10 月份旱情最重, 11 月份旱情基本解除, 过程十分清楚。

3.2 I_D 作为旱情指标的监测效果分析

据广西气象台发布的全区干旱监测结果: 2005 年 7 月下半月至 9 月上旬期间广西部分地区出现轻—中度干旱, 9 月中旬以后干旱发展, 干旱范围逐步扩大, 旱情加重。干旱最严重的时段出现在 10 月中、下旬。11 月 11-14 日, 受弱冷空气和切变线共同影响, 广西大部地区普降中—大雨, 局部暴雨到大暴雨。这次降雨过程使大部地区旱情得到解除或缓解。

再据广西农业信息中心统计的广西夏秋季农作物受旱面积数据, 也表现出相同的旱情实况, 见图 5。

同时, 从 2005 年秋旱遥感监测图 (图 2, 3) 可以看出, 旱区旱情等级的空间分布状况与周游游^[6]等 (见图 1) 的研究成果一致。

从上述 I_D 作为旱情指标的监测效果分析可以得出, 干旱遥感监测模型的监测结果与实况及他人的研究成果相符, 说明利用植被状态指数和温度条件指数建立的干旱遥感监测模型能够准确反映出干旱的时空变化情况, 作为旱情监测评价指标是有效的。

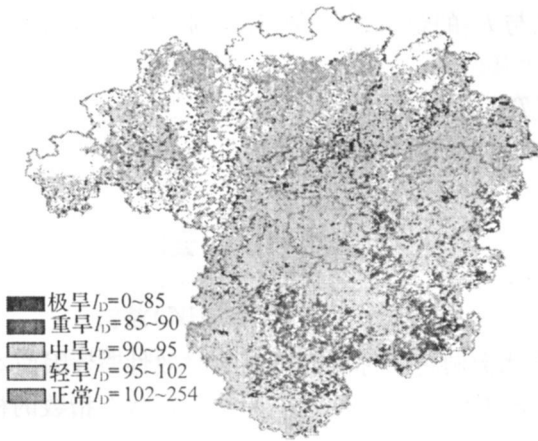


图 2 2005 年 9 月 23 日干旱遥感影像图

Fig.2 Remote sensing image map of drought on september 23,2005

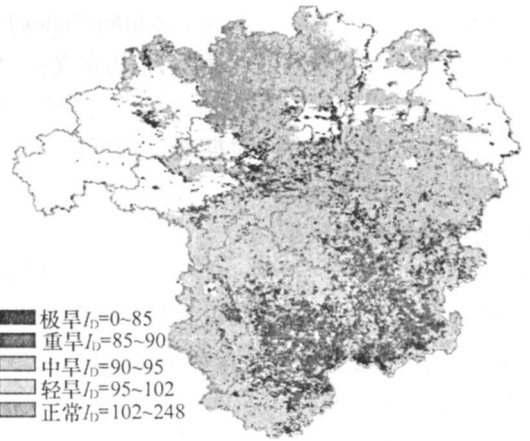


图 3 2005 年 10 月 10 日干旱遥感影像图

Fig.3 Remote sensing image map of drought on October 10,2005

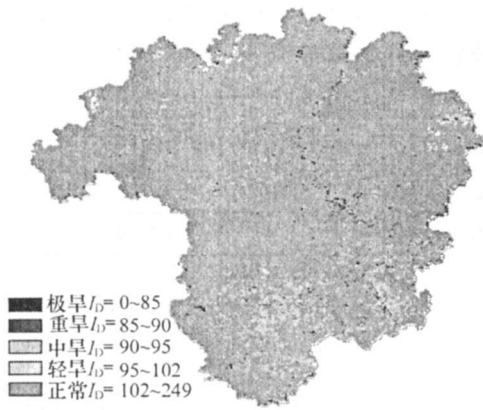


图 4 2005 年 11 月 20 日干旱遥感影像图

Fig.4 Remote sensing image map of drought on November 20,2005

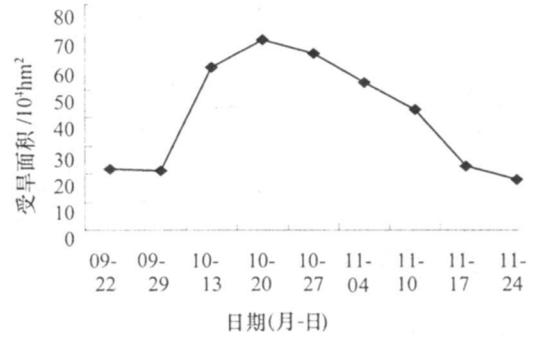


图 5 2005 年广西 9 ~ 11 月农作物受旱面积统计

Fig.5 Drought-suffering crop area in Guangxi from Sep. to Nov

3 3 遥感参数在旱情监测中的应用评价

经过对 I_D 作为旱情指标与实况进行对比分析,在肯定其作为旱情指标的有效性之后,有必要对遥感参数 I_{VC} 、 I_{TC} 对旱情的敏感性做出分析,以确认它们所包含干旱信息的相对大小。本文以 2005 年 9 月 12 日、9 月 23 日、10 月 5 日、10 月 10 日、10 月 24 日、10 月 31 日、11 月 20 日的数据进行分析,分别以 I_{VC} 、 I_{TC} 为横坐标,以 I_D 为纵坐标作图,从图 6、7 可以看出,随着 I_{TC} 的增大, I_D 有明显的增大趋势,这说明同期的温度条件指数 I_{TC} 对旱情的反映非常敏感,而同期的植被状况指数 I_{VC} 其反映旱情的敏感性则要差一些。可以认为,在广西中部喀斯特干旱农业区, I_{TC} 和 I_{VC} 都能反映出旱情,但温度反映旱情的敏感性更高,而植被对干旱的反映不是十分敏感。

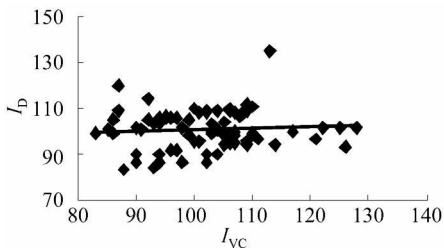


图 6 桂中旱区 I_D 与 I_{VC} 散点图

Fig 6 The $I_D - I_{VC}$ scatter plot for karst agricultural area in middle Guangxi

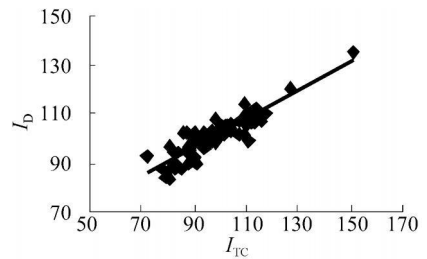


图 7 桂中旱区 I_D 与 I_{TC} 散点图

Fig 7 The $I_D - I_{TC}$ scatter plot for karst agricultural area in middle Guangxi

4 结语

本文采用 2001–2005 年 9–11 月 250m 空间分辨率的 EOS/MODIS 数据, 综合应用 I_{VC} 和 I_{TC} , 建立反映干旱的植被温度旱情指数 I_D , 并给出了权重系数 R_1 , R_2 的取值。利用 I_D 对 2005 年广西中部喀斯特干旱农业区的秋旱进行了监测, 并以旱情实况数据对该旱情指标进行了验证。结果表明, I_D 能有效地反映旱情并用于监测评价广西中部喀斯特干旱农业区的旱情。

在肯定 I_D 作为旱情指标的有效性的前提下, 分别对 I_D 与 I_{VC} , I_{TC} 的敏感性进行了定性评价, 表明 I_D 随 I_{TC} 的变化而变化的规律很明显, 说明温度对干旱的反映十分敏感, I_{VC} 也能反映出旱情的变化, 但植被对干旱的反映不是十分敏感。可以认为, 以 I_{TC} 和 I_{VC} 为基础构建的干旱遥感监测模型适用于广西中部喀斯特干旱农业区的旱情监测。

由于南方地区常有多云天气, 在监测期间较难获取足够的晴空卫星数据, 本研究选取的监测样本也有部分地区被云覆盖, 这样会给干旱监测结果带来一些误差。

参考文献:

- [1] 肖苑广, 陈维英, 盛水伟, 等. 用气象卫星监测土壤水分的实验研究 [J]. 应用气象学报, 1994 5(3): 312–318.
- [2] 罗秀陵, 薛琴, 张长虹, 等. 应用 NOAA/AVHRR 资料监测四川干旱 [J]. 气象, 1996 22(5): 35–38.
- [3] 刘丽, 刘清, 周颖, 等. 卫星遥感信息在贵州干旱监测中的应用 [J]. 中国农业气象, 1999 20(3): 43–45.
- [4] 居为民, 孙涵, 汤志成. 气象卫星遥感在干旱监测中的应用 [J]. 灾害学, 1996 11(4): 25–29.
- [5] 申广荣, 田国良. 作物缺水指数监测旱情方法研究 [J]. 干旱地区农业研究, 1998 16(1): 123–128.
- [6] 周游游, 蒋忠诚, 韦珍莲. 广西中部喀斯特干旱农业区的干旱程度及干旱成因分析 [J]. 中国岩溶, 2003 22(2): 145–121.
- [7] 黄雪松, 覃志年, 李艳兰. 广西农业干旱及水资源合理开发利用. 自然灾害学报, 2005, 14(2): 29–35.
- [8] 杨青生, 刘闯. MODIS 数据陆面温度反演研究. 遥感技术与应用, 2004, 19(2): 90–94.
- [9] 覃志豪, 高懋芳, 秦晓敏等. 农业旱灾监测中的地表温度遥感反演方法—以 MODIS 数据为例. 自然灾害学报, 2005 14(4): 64–71.
- [10] Qin Z, Zhang M, Kan J, et al. Derivation of split window algorithm and its sensitivity analysis for retrieving land surface temperature from NOAA-AVHRR data [J]. Journal of Geophysical Research, 2001, 106(D19): 22655–22670.
- [11] Kogan F N. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogenous areas [J]. International Journal of Remote Sensing 1990, 11: 1405–1419.
- [12] Liu W, Kogan F N. Monitoring regional drought using the vegetation condition index [J]. International Journal of Remote Sensing 1996 17: 2761–2782.
- [13] Kogan F N. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection [J]. Advances in Space Research, 1995 1(11): 91–100.
- [14] Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. A Simple Interpretation of the Surface Temperature/Vegetation Index Space for Assessment of Surface Moisture Status [J]. Remote Sensing Environ. 2002 79(2): 213–224.
- [15] Goetz S J. Multisensor Analysis of NDVI, Surface Temperature and Biophysical Variables at a Mixed Grassland Site [J]. International Journal of Remote Sensing. 1997, 18(15): 71–94.