

基于广西岩溶和非岩溶地貌的 干旱遥感监测模型研究

匡昭敏^{1,2}, 钟仕全^{1,2}, 黄永鑫^{1,2}, 杨鑫^{1,2}, 孙涵^{1,2}

(1. 国家卫星气象中心遥感应用试验基地, 广西 南宁 530022; 2. 广西气象减灾研究所, 广西 南宁 530022)

摘要: 根据 MODIS 植被指数和陆面温度, 建立植被状态指数(VCI)、温度条件指数(TCI)和植被-温度指数(DI)模型; 采用广西 2004 年 10~11 月数据, 利用相关系数、全距和变异系数对 3 个干旱监测模型应用于广西岩溶区和非岩溶区大范围干旱监测的适用性进行了论证分析, 结果表明: 植被-温度指数模型(DI)最适用, 温度条件指数(TCI)次之, 植被状态指数(VCI)则较难胜任。并使用植被-温度指数 DI 模型监测了广西 2005 年秋旱, 经与干旱实况对比, 干旱指数 DI 的监测结果与实况相符, 表明植被-温度指数遥感监测模型能准确反映出广西岩溶和非岩溶地貌环境的干旱时空变化特征, 适用于广西大范围的干旱监测。

关键词: 干旱监测; 卫星遥感; MODIS; 植被指数(NDVI); 陆面温度(LST)

中图分类号: S165+.25; S423 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)02-0156-06

广西境内自然资源、地质环境复杂多样, 具有明显的地域性差异, 其中有 50 个岩溶县(市)。岩溶地区自然环境极其脆弱, 地表水渗漏严重, 地下水埋藏深, 动态变幅大, 导致干旱等自然灾害严重^[1]。因此, 迫切需要客观、快速、有效的旱情监测信息, 为制定合理的防旱、抗旱措施提供科学依据。

利用遥感手段监测大范围旱情的研究在国内外已经取得很大进展。干旱遥感监测中应用最广泛的是植被指数(NDVI), 国外很多学者应用 NOAA/AVHRR 资料做了很多探索^[2~4]。国内的陈乾^[5]、陈维英^[6]、居为民^[7]、李星敏^[8]等人也进行了这方面的研究。在植被覆盖条件下, Sandholt 等^[9]认为利用 NDVI 作为水分胁迫指标有滞后性, Goetz 等^[10]认为温度作为水分胁迫指标更具时效性, 因此许多学者利用温度指数开展了干旱遥感监测的研究^[11~15]。同时也有学者结合植被指数和温度建立各种模型, 进行干旱遥感监测研究, 结果表明综合植被指数和陆面温度复合信息的模型能得到更加合理的监测结果^[16~20]。

本研究利用 MODIS 卫星数据, 探讨采用植被指数、温度指数, 以及植被指数和温度指数相结合, 建立植被状态指数模型、温度条件指数模型和植被-温度指数等 3 种模型, 并选择广西中部典型岩溶地貌的干旱农业区和南部非岩溶地貌的农业区作为研究区域, 研究适用于广西相异地质地貌区域的干

旱遥感监测模型。

1 数据的来源

根据广西的地质地貌特征, 选择广西中部干旱农业区中的典型岩溶地貌区^[21]——包括环江、罗城、融水、融安、永福、河池、宜州、忻城、柳州、柳江、柳城、来宾、武宣、鹿寨、象州、上林、宾阳以及非岩溶地貌的桂南农业区^[1]——包括横县、邕宁、陆川、博白、灵山、浦北、上思、钦州、防城、东兴、北海、合浦。

本文采用了 2001~2005 年的 EOS/MODIS 卫星数据, 数据来源于国家卫星气象中心和广州卫星地面站, 数据预处理应用国家卫星气象中心下发的“极轨气象卫星接收处理系统”完成, 主要包括卫星数据定标、太阳高度角订正、临边变暗订正、等角投影等步骤, 最终生成 36 个通道 250 m 分辨率的局地数据文件。

2 干旱监测原理与模型

2.1 植被状态指数(VCI)

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 通道可反映植被的吸收特性, 第 2 通道近红外区可反映植被的反射特性。

收稿日期: 2006-07-20

基金项目: 广西气象局重点科研项目(桂气发 2004-233-2)

作者简介: 匡昭敏(1968—), 女, 广西北流市人, 高级工程师, 主要从事应用气象及生态环境遥感应用研究。E-mail: kzhaomin@163.com; kzm522@sina.com。

用这两个波段的数学组合,可提取作物长势信息,从而反映出旱情。根据农作物的上述光谱特性, Kogan(1990)等^[22]提出了植被状态指数(VCI)的概念,并给出了VCI的定义。Liu等^[23]认为NDVI适用于研究大尺度范围的气候变异,而VCI适用于估算区域级的干旱程度。

植被状态指数VCI(Vegetation condition index)的定义为:

$$VCI_j = 100(NDVI_j - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}) \quad (1)$$

式中, $NDVI_j$ 为某一特定年第 j 时期的 $NDVI$ 值, $NDVI_{max}$ 和 $NDVI_{min}$ 分别代表所研究年限内第 j 时期 $NDVI$ 的最大值和最小值。(1) 式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 $NDVI$ 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, VCI 愈小,表示该时段作物长势愈差,作物受旱程度愈重。

2.2 温度条件指数(TCI)

陆面温度(LST, land surface temperature)是研究地表和大气之间物质交换和能量交换的重要参数。

LST 包含植被冠层温度和裸地表面温度等。植被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。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,从而造成地表潜热通量的降低,进而将会导致地表感热通量的增加,感热通量的增加又可导致冠层温度的升高。裸地表面温度的升高是土壤干旱的表现,因土壤中含水量减少时,土壤热容量相应变小,接收太阳辐射后容易增温升温,从而导致表面温度升高。因此,陆面温度可用于干旱

监测。

Kogan(1995)^[14]提出了温度条件指数(TCI)的概念,并给出了TCI的定义式。温度条件指数TCI(Temperature condition index)的定义与VCI的定义相似,它与植物生长关系密切^[24]。TCI的定义:

$$TCI = 100 \times (T_{max} - T_j) / (T_{max} - T_{min}) \quad (2)$$

式中, T_j 为某一特定年第 j 时期陆面温度, T_{max} 和 T_{min} 分别表示研究年限内第 j 时期陆面温度的最大值和最小值。 TCI 愈小则愈旱。

2.3 植被-温度指数(DI)

植被指数与陆面温度的合理融合,可以衍生出更丰富、清晰的地表信息,有助于更加准确、有效认知土地覆盖或土地利用的时空变化规律。

从上述VCI的定义可以看出,VCI仅考虑由于水分胁迫导致NDVI降低的状况,未考虑温度也可导致NDVI降低这一因素,基于这一点,综合应用植被状态指数VCI和温度条件指数TCI,建立反映旱情的植被-温度指数DI。DI越小,表示越干旱。

$$DI = R_1(NDVI_j - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}) + R_2(T_{max} - T_j) / (T_{max} - T_{min}) \quad (3)$$

式中, $NDVI_j$ 、 $NDVI_{max}$ 、 $NDVI_{min}$ 、 T_j 、 T_{max} 、 T_{min} 的定义同(1)式和(2)式; $R_1 + R_2 = 1$, R_1 、 R_2 为权重系数,本研究 R_1 、 R_2 分别取值 0.4 和 0.6。

3 3种模型的适用性论证及应用

3.1 3种模型的适用性论证

采用2004年10~11月广西典型岩溶地貌的农业干旱区和南部非岩溶地貌的农业区数据作为试验数据,统计了各模型参数与干旱指数的相关系数(见表1),论证(1)、(2)、(3)三个模型在广西岩溶区和非岩溶区进行干旱监测的适用性。

表1 干旱指数与模型参数的相关系数

Table 1 correlation coefficient between model parameter and drought Index

模型参数 Parameter	DI		VCI		TCI	
	岩溶区 Karst area	非岩溶区 Non-karst area	岩溶区 Karst area	非岩溶区 Non-karst area	岩溶区 Karst area	非岩溶区 Non-karst area
NDVI	—	—	0.74	0.46	—	—
LST	—	—	—	—	-0.80	-0.72
VCI	0.81	0.70	—	—	—	—
TCI	0.94	0.97	—	—	—	—

从表1可以看出,模型(3)的干旱指数(DI)与各参数的相关系数最大,相关极显著,该模型最适用于广西不同地质地貌区域的大范围干旱监测;模型

(2)的干旱指数(TCI)的相关水平不如DI,但其相关系数都大于0.7,表明在广西干旱监测的应用中具有一定价值;模型(1)的干旱指数(VCI)在岩溶区的

相关系数大于 0.7, 但其在非岩溶区的相关系数较小只有 0.46, 表明此模型较难胜任具有不同地质地貌环境的广西大面积干旱监测。

此外, 从表 1 中还可以发现, 各模型岩溶区的相关系数都比非岩溶区高, 这与岩溶区和非岩溶区不同的地质地貌特征有关, 因岩溶地区地下有众多的溶洞、溶沟、地下河等, 加上岩溶区一般土层较薄, 大气降水迅速通过溶隙等汇集于地下河; 而形成于浅薄的土壤覆盖层中的土壤水也迅速被蒸发掉, 保水能力差; 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, 故容易导致地表干旱, 植物在这样的环境中生长易遭受旱

害, 导致植物生长变差, 作物冠层温度升高, 所以该区的植被指数和陆面温度能敏感地反映出植物的受旱信息。在非岩溶区由于一般土层较厚, 少有地下沟、河等, 保水能力强, 在相同的气候干旱条件下, 比岩溶区具有更强的抗旱能力, 植物不易遭受旱害, 生长状况发生改变较慢, 植被指数和地表温度的变化相对滞后, 所以该区植被指数和陆面温度所包含的干旱信息要比岩溶区少。

3.2 模型试验结果的有效性检验

为了检验模型试验结果的有效性, 分别统计干旱指数 VCI、TCI 和 DI 数据系列的变异系数和全距, 见表 2。

表 2 干旱指数的特征值

Table 2 Characteristic value of Drought Index

特征值 Characteristic value	DI		VCI		TCI	
	岩溶区 Karst Area	非岩溶区 Non-karst Area	岩溶区 Karst area	非岩溶区 Non-karst area	岩溶区 Karst area	非岩溶区 Non-karst area
变异系数 CV	12.56	20.12	15.11	14.29	13.47	26.48
全距 R	61	76	41	69	88	159
干旱指数值 < 98 的百分率 (%) Peren tage of drought index < 98	35.4	32.35	71.43	66.67	40.42	36.11

全距是一个系列中最大值与最小值之差, 表达式为

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (4)$$

全距大, 表示该系列变化幅度大, 离散程度大。全距小, 则反之。

变异系数是均方差与平均值之比, 用百分数表示。其公式为

$$CV = \frac{\sigma}{x} \times 100\% \quad (5)$$

由于变异系数是一个相对数, 具有很高的可比性, 变异系数越小, 说明数据系列中的值越集中。

表 2 中, 从干旱指数的值小于 98% 统计数据看, 岩溶区的百分率比非岩溶区高, DI、TCI 越小, 表明旱情越重, 这一统计结果显示岩溶区的干旱相对较重, 从变异系数和全距看, 干旱指数 DI 和 TCI 系列, 岩溶区比非岩溶区小, 说明岩溶区的干旱指数 DI、TCI 的值比较集中, 而非岩溶区的变化幅度比较大, 离散程度也大, 综合这三个统计值的特征, 岩溶区干旱指数 TCI 和 DI 的值向显示旱象的小值集中, 显示出在相同的干旱气候条件下, 应用于干旱指数 TCI {模型(2)}、干旱指数 DI {模型(3)} 监测到的干旱情况岩溶区比非岩溶区重, 这与实际情况相符。但对于干旱指数 VCI, 即模型(1), 岩溶区和非岩溶

区的变异系数比较接近, 说明这一模型难以准确地反映出岩溶区和非岩溶区的干旱情况。

综合以上分析得出, 模型(3), 即干旱指数 DI 最适用于具有不同地质地貌特征的广西区域的大范围干旱遥感监测, 模型(2)TCI 次之, 而模型(1)VCI 则较难胜任。

3.3 模型的应用

应用模型(3)得到 2005 年 9 月 23 日、10 月 10 日、11 月 20 日岩溶区和非岩溶区的旱情分布图(见图 1~3), 从图中可看出重旱区主要分布在岩溶区, 而非岩溶区的干旱程度相对较轻。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。

根据广西气象台采用地面气象资料发布的广西干旱监测结果: 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 月中旬以后旱情加重, 干旱范围逐步扩大。干旱最严重的时段出现在 10 月中、下旬。11 月 11 日至 14 日, 广西大部地区普降中~大雨, 局部暴雨到大暴雨, 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农作物受旱面积数据, 也显示出相同的旱情实况, 见图 4。

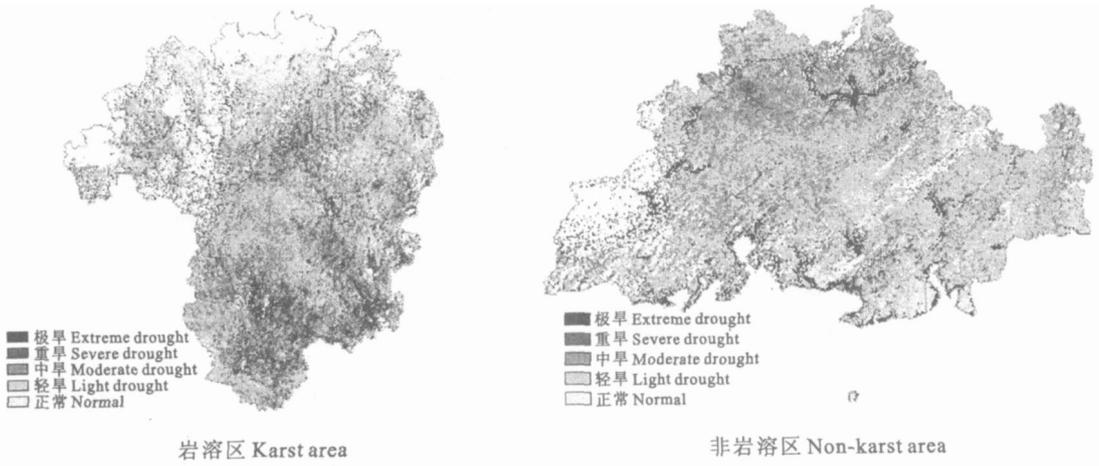


图 1 2005 年 9 月 23 日干旱遥感影像图

Fig.1 Distribution of drought index DI on Sept. 23,2005

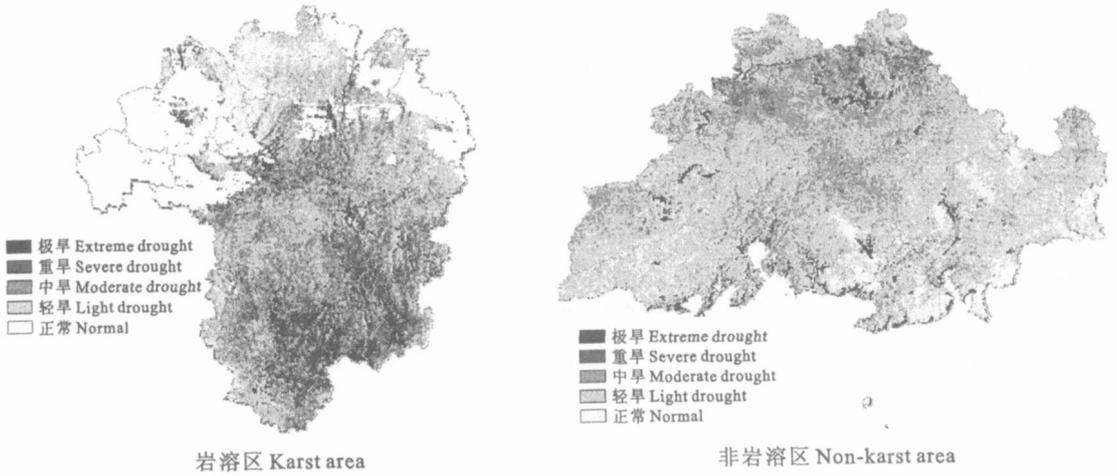


图 2 2005 年 10 月 10 日干旱遥感影像

Fig.2 Distribution of drought index DI on Oct. 10,2005

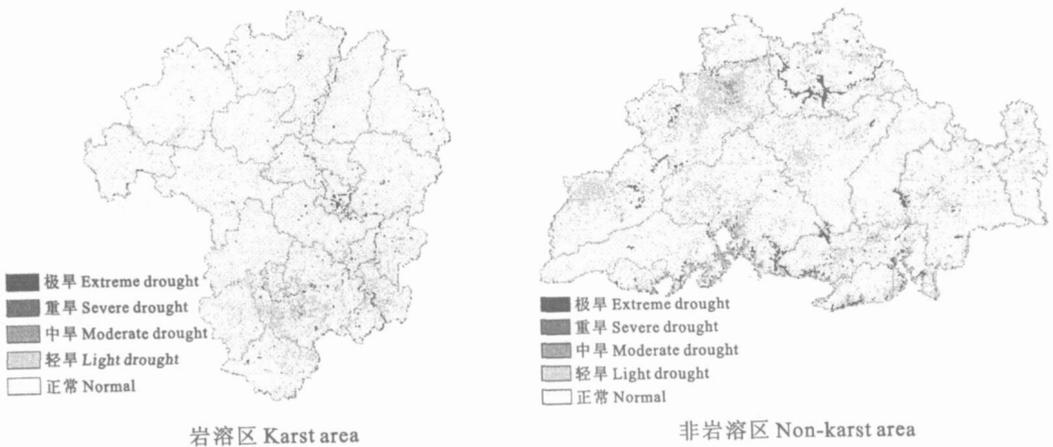


图 3 2005 年 11 月 20 日干旱遥感影像图

Fig.3 Distribution of drought index DI on Nov. 20,2005

通过与干旱实况的对比分析得出,干旱指数 DI 遥感监测模型的监测结果与实况相符,表明结合植被状态指数和温度条件指数建立的干旱指数遥感监

测模型能准确反映出广西相异域地质地貌环境的干旱时空变化特征,适用于广西大范围的干旱监测。

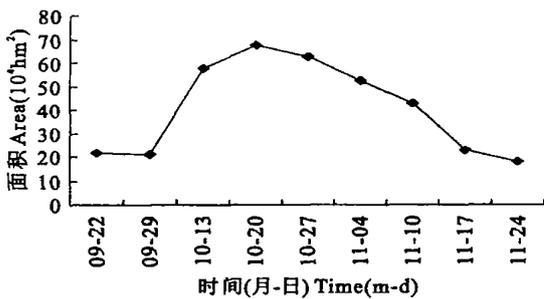


图 4 2005 年广西 9~11 月农作物受旱面积统计

Fig 4 Area of Agricultural drought in Guangxi from Sep. to Nov.

4 结论

本文采用 MODIS 植被指数和温度指数,建立了植被状态指数、温度条件指数和植被-温度指数模型,并利用 2004 年 10~11 月数据对各模型应用于广西大范围干旱监测的适用性进行了分析论证,得出:植被-温度指数 DI 最适用于具有不同地貌环境的广西大范围干旱遥感监测,温度条件指数 TCI 次之,而植被状态指数 VCI 则较难胜任。

使用植被-温度指数 DI 模型监测了广西 2005 年秋旱,通过与干旱实况的对比分析得出,干旱指数 DI 遥感监测模型的监测结果与实况相符,表明结合植被状态指数和温度条件指数建立的植被-温度指数遥感监测模型能准确反映出广西相异地域地貌环境的干旱时空变化特征,适用于广西大范围的干旱监测。

由于本模型仅应用于 2005 年桂中旱区的秋旱监测,因此该干旱指数遥感监测模型的稳定性有待进一步验证。

参考文献:

[1] 夏日元,朱远峰,李兆林. 广西岩溶区农业发展的资源及地质环境特征[J]. 广西科学,1997,4(2):192-195.

[2] Tim R.Cicada,David L B. et al. The current and potential operational uses of remote sensing to arid decisions on drought exceptional circumstance in Australia: A review [J]. Agricultural Systems, 1998, 57(3):399-468.

[3] Salinas-Zavalaa C A, Doughlasb A V, Diazc H F. Interannual variability of NDVI in northwest Mexio. Associated climatic mechanisms and ecological implications[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 82:417-430.

[4] 刘志明,张柏,晏明,等. 土壤水分与干旱遥感研究的进展与趋势[J]. 地球科学进展,2003,18(4):576-583.

[5] 陈乾. 用植被指数监测干旱并估算冬小麦产量[J]. 遥感技术与应用,1994,9(3):12-18.

[6] 陈维英,肖乾广,盛水伟. 距平植被指数在 1992 年特大干旱监测中的应用[J]. 环境遥感,1994,9(2):106-112.

[7] 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,(4):25-29.

[8] 李星敏,郑有飞,刘安麟,等. 陕西渭北东部干旱遥感监测模型研究[J]. 南京气象学院学报,2004,27(1):73-78.

[9] 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.

[10] 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.

[11] Watson K, Rowen L C, Offield T W. Application of thermal modeling in the geologic interpretation of IR images [J]. Remote Sens Environ, 1971, (3):2017-2041.

[12] Watson K, Pohn H A. Thermal inertia mapping from satellites discrimination of geologic units in Oman [J]. J Res Geol Surv-ing, 1974, 2(2):147-158.

[13] Rosema A. Result of the group agromet monitoring project [J]. ESA Journal, 1986, (10):17-41.

[14] 李星敏,刘安麟,张树誉,等. 热惯量法在干旱遥感监测中的应用研究[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(1):54-60.

[15] Kogan F N. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection [J]. Advances in Space Research, 1995, 1(11):91-100.

[16] Leonard S Unganai, Felix N Kogan. Drought monitoring and corn yield estimation in Southern Africa from AVHRR data [J]. Remote Sensing of Environment, 1998, 63:219-232.

[17] Singh R P, Sudipa Roy, Kogan F. Vegetation and temperature condition indices from NOAA AVHRR data for drought monitoring over India [J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(22):4393-4402.

[18] Kogan F N, Stark R, Gitelson A, et al. Derivation of pasture biomass in Mongolia from AVHRR-based vegetation health indices [J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(14):2889-2996.

[19] 朱小祥,刘瑞霞. 卫星资料在干旱监测中的应用研究[J]. 海洋科学进展,2004,22(增刊):8-15.

[20] 闫娜娜,吴炳方,黄慧萍,等. 植被状态指数和温度条件指数的提取方法[J]. 世界科技研究与发展,2005,27(4):65-71.

[21] 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):144-149.

[22] Kogan F N. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogenous areas [J]. International Journal of Remote Sensing, 1990, 11:1405-1419.

[23] Liu W, Kogan F N. Monitoring regional drought using the vegetation condition index [J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17:2761-2782.

[24] 蔡斌,陆文杰,郑新江. 气象卫星条件植被指数监测土壤状况[J]. 国土资源遥感,1995,7(4):20-25.

Research on drought remote sensing monitoring model of karst and non-karst geological environment areas in Guangxi

KUANG Zhao-min^{1,2}, ZHONG Shi-quan^{1,2}, HUANG Yong-lin^{1,2}, YANG Xin^{1,2}, SUN Han^{1,2}

(1. Remote Sensing Application and Validation Base of NSMC, Nanning, Guangxi 530022, China;

2. Guangxi Meteorological Disaster Mitigation Institute, Nanning, Guangxi 530022, China)

Abstract: Land surface temperature and normalized different vegetation index derived from MODIS were used to establish vegetation condition index (VCI) model, temperature condition index (TCI) model and vegetation-temperature index (DI) model. Based on data from October to November in 2004, using correlation coefficients and R and CR, the reasonability of VCI, TCI and DI for drought monitoring in karst agriculture arid area and non-karst agriculture area in Guangxi was evaluated. The results showed that DI is the most promising method in monitoring drought for different geological environment in Guangxi; TCI has the potential on monitoring drought while VCI is not competent for monitoring drought in Guangxi. Using the DI, the temporal-spatial distribution of drought from September to November of 2005 in Guangxi was studied. The temporal-spatial pattern of DI was compared with the observed real drought condition in Guangxi. The validity of DI model in evaluating drought of different geological environment in Guangxi was verified.

Keywords: drought monitoring; satellite remote sensing; MODIS; normalized different vegetation index (NDVI); land surface temperature (LST)

(上接第 150 页)

Analysis on characteristics of soil salinization in the delta oasis of Weigan and Kuqa Rivers

ZHANG Fei¹, Tasholat·Tiyip¹, DING Jian-li^{1,2}

(1. College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China;

2. Post Doctoral Laboratory of Theoretical Economics, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China)

Abstract: Soil salinization is one of primary environmental problems in the sustainable development in the delta oasis of Weigan and Kuqa Rivers. Based on field survey, GPS location and soil analysis, soil salinization levels and distribution are investigated. Using the Statistics and Excel software, content of salt ion, relation of the conductance rate and content of ion, relation of ion content and total alkali, relation between TDS (Total dissolved solids) and ion in the soil, relation between salt content and conductivity, correlation of the salt ions, as well as the relation of salt amount and agricultural output are analyzed. The factor analysis is used to study the salinized situation of land in the oasis. The determination of the type of land salinized soil is based on its equivalent ratio of Cl^- to SO_4^{2-} , while the differentiation of salinization degree for land salinized soil is chiefly based on the type and content of soil salt. Lands in the delta oasis of Weigan and Kuqa rivers are mostly of alkali soil with pH value 7.86 and high in salt content. Salts concentrate mostly in the 0~10 cm surface layer, it accounts for 4.68%. Dominated cations in the soil are Na^+ , K^+ , Mg^{2+} and Ca^{2+} , whereas anion content in a decreasing order are $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ in the 0~10 cm soil layers. However, CO_3^{2-} content fails to measure in the soils. The correlation between Na^+ and Cl^- content is positive and extremely significant, between K^+ and HCO_3^- content significantly positive. All these findings further suggest that the soils are heavy chloride saline soils.

Keywords: the delta oasis of Weigan and Kuqa rivers; soil salinization; characteristic of soil