

引用格式:Wen Qi, Fan Yida, Chen Shirong, *et al.* Application of Enviroment and Disaster Satellites Data in Drought Early-warning and Monitoring[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2012, 27(4): 591-599. [温奇, 范一大, 陈世荣, 等. 环境减灾卫星数据在旱灾预警监测中的应用[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(4): 591-599.]

环境减灾卫星数据在旱灾预警监测中的应用

温 奇¹, 范一大¹, 陈世荣¹, 孙 灏², 胡卓玮³

(1. 民政部国家减灾中心, 北京 100124;

2. 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875;

3. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100044)

摘要:环境减灾卫星星座具有宽覆盖和快速重访的能力, 尤其适合旱灾等大范围灾害监测的要求。基于权重叠加法的区域旱灾风险评估方法, 综合考虑致灾因子、孕灾环境及承灾体等指标, 获得的旱灾风险等级分布图可以应用于旱灾风险预警。光谱维—温度旱灾指数产品综合考虑了土壤水分变化、地表蒸散变化、植被绿度变化、植株水分变化 4 方面内容, 可有效应用于旱灾监测中。针对 2010 年初中国西南地区特大旱灾, 利用环境减灾卫星数据采用上述方法开展了旱灾风险评估和监测, 并采用民政部国家减灾中心收集的地方政府上报灾情数据对风险评估和监测结果进行了验证, 结果表明:监测结果与实报灾情相符, 结果具有较高的精度。风险评估和监测结果仍需进一步改进, 以满足自然灾害救助应急预案仿真与模拟的精度需求。

关 键 词:环境减灾卫星; 西南旱灾; 风险评估; 监测指数; 减灾应用; 救助预案; 仿真与模拟

中图分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2012)04-0591-09

1 引 言

环境减灾卫星星座是中国自行研制的应用于环境和灾害监测的小卫星星座, 先期发射的 A、B 星装载了宽覆盖多光谱 CCD 相机(A、B 星)、超光谱成像仪(A 星)、红外相机(B 星)3 类传感器, 具备了大范围、中高分辨率、快速重访的对地观测能力, 为中国灾害应急管理工作提供了高时效、高质量、稳定的数据源。环境减灾 A、B 星已纳入了国家减灾救灾业务体系, 并初步体现了较强的灾害持续重复观测能力、大范围灾害监测评估应用能力和较强的灾害综合监测评估能力^[1-2]。环境减灾卫星的可见光多光谱数据和红外数据可以实现观测植被、反演温度等功能, 得到反映区域旱灾风险形势的参数因子, 本文以 2010 年初我国西南地区冬春连旱为案例, 介绍环境减灾卫星数据旱灾风险评估和监测方法, 并结

合地方政府上报灾情数据对风险评估和监测结果进行了验证。

2 研究区概况

旱灾通常指因气候严酷或不正常的干旱而形成的自然灾害, 具有持续时间长、影响范围大、发生频率高、地域变化明显、潜伏性、年际变化大等特点。中国国土面积广阔, 区域气候变化明显, 气候不稳定, 降水时空分布不均, 造成了中国大范围干旱的频繁发生, 每年因干旱造成的损失非常严重。

自 2009 年秋季以来, 中国云南全省、广西和贵州部分地区遭遇了 50~60 a 一遇的干旱, 旱情一直持续到 2010 年 5 月, 并扩大到四川、重庆等省市, 造成农作物严重受灾, 人民群众生产生活用水困难, 其持续时间之长、发生范围之广、受灾程度之深、造成的损失之重历史罕见。针对这次重大灾害过程, 利

收稿日期: 2011-11-15; 修订日期: 2012-03-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(91024008), 国家重大科技专项“高分辨率对地观测系统”。

作者简介: 温 奇(1983—), 男, 山西洪洞人, 博士, 助理研究员, 主要从事灾害遥感、空间技术减灾理论和应用研究。

E-mail: wenqi@ndrcc.gov.cn.

用环境减灾卫星数据对灾区旱情开展了风险评估和灾情监测,并对风险评估和监测结果进行了验证。旱灾风险预警产品和监测产品选择的实验区位于 $103^{\circ}4'33''\sim 107^{\circ}1'E, 24^{\circ}5'3''\sim 27^{\circ}5'41''N$,此区域覆盖了此次旱灾重灾区贵州黔南州、黔西南州、贵阳市、毕节地区、六盘水市、安顺市以及云南曲靖市的部分地区。

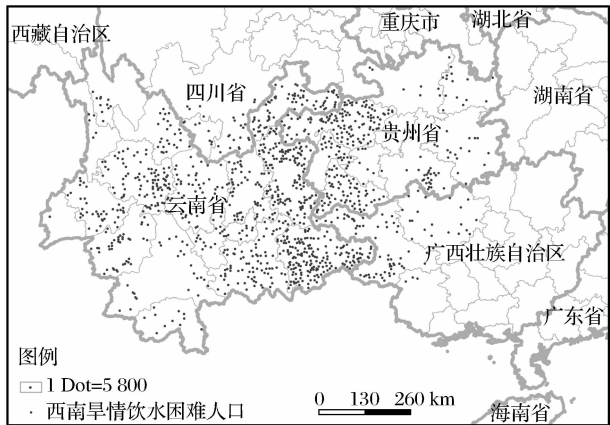


图 1 2010 年 5 月上旬中国西南旱灾饮水困难人口分布图
Fig.1 Drought water shortage population distribution map of Southwest China in early May 2010

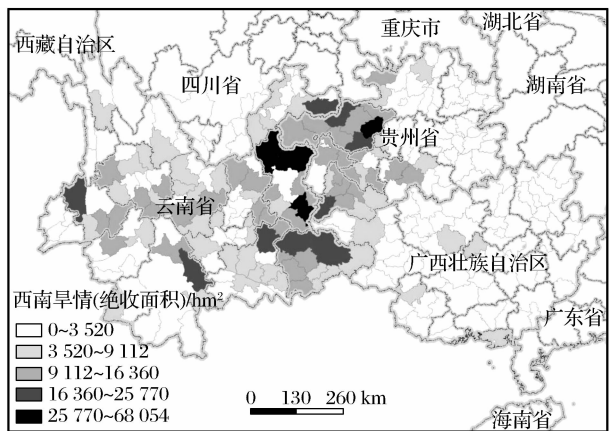


图 2 2010 年 5 月上旬中国西南旱灾农作物绝收面积分布图
Fig.2 Drought crop area distribution map of Southwest China in early May 2010

3 基于权重叠加法的区域旱灾风险评估

3.1 评价方法

灾害系统论将灾害产生因素分为致灾因子、孕灾环境及承灾体。在干旱灾害系统中,孕灾环境包括大气、水文、气象及下垫面环境等,通常用地貌、地质、气候、水文、土壤、植被等自然地理要素作为反映区域环境对旱灾敏感性的参数;致灾因子是指造成

作物损失或生产生活环境破坏的异变因子,如长时间无降水、气温偏高、土壤墒情降低等;而承灾体则是指受灾害影响的对象(农作物、农田、牲畜等)对灾害本身的承受能力。

根据灾害系统体系,结合不同尺度评估的侧重点及数据的可获取性,构建区域尺度的旱灾风险评估指标,并将所有指标数据在 ArcGIS 平台下进行处理,转换成统一空间分辨率及地理参考坐标的栅格数据,利用权重叠加的方法,获得旱灾风险等级分布图。

权重叠加法是根据专业人员的先验知识,为参评因子按照贡献率的大小赋予相应的权重,将每个参评因子乘以它的权重值,将这些带权重的指标图层叠加,得到最后的结果。权重叠加的公式如下:

$$p = \sum_{i=1}^n X_i W_i \tag{1}$$

其中: P 为指数和, X_i 为参评因子, W_i 为因子权重。

权重的确定采取层次分析法。在旱灾系统风险评估中,影响灾害发生的系统性比较明显,本文采用专家打分的方法来比较两两影响因素之间的重要性,建立构造矩阵来确定其权重。

3.2 区域旱灾风险评估

根据区域尺度的旱灾风险评估特点,以降水量距平百分比、植被供水指数及土壤相对湿度作为反映致灾因子危险性的指标,计算危险性指数;以 GDP 密度、人口密度及抗灾能力指数作为反映区域承灾体易损性的参数,计算易损性指数;在孕灾环境方面,仍然以地貌类型、土壤类型以及土地利用类型作为反映孕灾环境敏感性的指标。基于上述指标,计算区域旱灾风险分布图。计算公式如下:

$$R = D \cdot W_1 + S \cdot W_2 + V \cdot W_3 \tag{2}$$

其中: R 为旱灾风险综合指数, D 为致灾因子危险性指数, S 为孕灾环境敏感性指数, V 为承灾体易损性指数, $W_1、W_2、W_3$ 为相对应的因子权重。

3.2.1 区域尺度指标体系构建

(1) 植被供水指数(VSWI)。指通过观测温度及 NDVI 值进行旱灾监测,具体的物理意义是:作物受旱时,冠层通过关闭部分气孔以减少蒸腾量,避免水分失去过多而枯死,蒸腾减少后,卫星遥感的作物冠层温度增高,归一化植被指数减小^[3]。植被供水指数综合考虑了 NDVI 和植被冠层温度,是目前运用最多的旱情监测指数,其计算公式为:

$$VSWI = NDVI / T_s \tag{3}$$

其中:VSWI 为植被供水指数, T_s 为利用环境减灾卫星数据反演得到的作物冠层温度(可以看作是遥感反演地表温度),NDVI 为环境减灾卫星数据反演得到的归一化植被指数。

(2) 土壤相对湿度。指土壤含水量占田间持水量的百分比,能反映土壤的含水程度以及能保持水分的量度,相对湿度越低,土壤越早。基于遥感计算土壤湿度比较困难,尤其是光学遥感数据。目前使用较多的是全国各地气象站点的地表以下 20 cm 或 30 cm 的实测土壤相对湿度数据。

(3) 降水量距平百分比。指某时段的降水量与常年同期降水量相比的百分比,表示某地评定时段的降水量与常年同期降水量的偏离程度。正值表示比常年值(气候平均值)偏多的百分数,负值表示比常年偏少,常作为气象干旱程度监测的指标。降水量距平百分比主要通过气象站点的实测数据计算得到,可以从国家气候中心下载相应产品。

(4) 易损性指标。综合考虑易损性的含义及前人的实验成果,选取人口密度、GDP 密度、抗灾能力来反映区域承灾体易损程度。人口数据主要以一定的行政单元为单位进行统计,根据各行政单元的面积和人口总数,计算该行政单元的人口密度,人口密度越大受灾影响程度越高。GDP 数据主要以一定的行政单元为单位进行统计,根据各行政单元的面积和 GDP 经济总数,计算该行政单元的 GDP 经济密度,GDP 密度越大表明受灾影响程度越高。抗灾能力指采用工程措施和非工程措施后所具有的防御洪、涝、旱灾的能力,这里主要用灌溉能力来描述,灌溉能力越强则抗灾能力越强^[4-5]。

3.2.2 权重确定

区域尺度的评价体系构建了 3 个判断矩阵,由孕灾环境敏感性指数、致灾因子危险性指数、承灾体易损性指数构成的灾害风险判断矩阵(表 1(a));由地貌类型、土壤类型、土地利用类型构成计算孕灾环境敏感性指数的判断矩阵(表 1(b));由降水量距平量百分比、土壤相对湿度及植被供水指数构成计算致灾因子危险性指数的判断矩阵(表 1(c));由人口密度、GDP 密度、抗灾能力构成计算承灾体易损性指数的判断矩阵(表 1(d));比较它们的相对重要性,再通过层次分析法计算其权重^[6-7]。

图 3 为基于权重叠加法的区域旱灾风险评估方法流程图。

表 1 区域尺度旱灾风险评估指标判断矩阵及其权重值
Table 1 Judgement matrix and weight value of regional scale drought risk assessment index

(a)灾害风险判断矩阵				
	敏感性指数	危险性指数	易损性指数	权重
敏感性指数	1	2/5	4/3	0.23
危险性指数	5/2	1	10/3	0.59
易损性指数	3/4	3/10	1	0.18

(b)孕灾环境敏感性判断矩阵				
	地貌类型	土壤类型	土地利用类型	权重
地貌类型	1	1/3	1/3	0.14
土壤类型	3	1	1	0.43
土地利用类型	3	1	1	0.43

(c)致灾因子危险性判断矩阵				
	降水距平量百分比	土壤相对湿度	植被供水指数	权重
降水距平量百分比	1	4/3	2	0.44
土壤相对湿度	3/4	1	3/2	0.34
植被供水指数	1/2	2/3	1	0.22

(d)承灾体易损性判断矩阵				
	GDP 密度	人口密度	抗灾能力	权重
GDP 密度	1	1	3/4	0.3
人口密度	1	1	3/4	0.3
抗灾能力	4/3	3/4	1	0.4

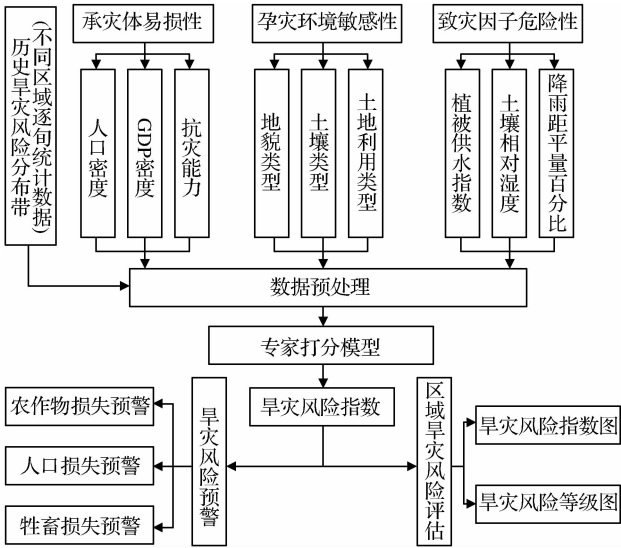


图 3 基于权重叠加法的区域旱灾风险评估方法流程图
Fig. 3 Flow chart of weight overlay based regional drought risk assessment method

4 基于环境减灾卫星数据的光谱维—
温度旱灾监测

农业干旱可以理解为:由于外界环境因素造成作物体内水分失去平衡,发生水分亏缺,影响作物正常生长发育,进而导致减产或失收的现象。不论发生何种类型的农业干旱,都通过土壤和农作物的物理特征变化表现出来。针对农业干旱的遥感监测主要围绕两方面开展,一是土壤水分的遥感监测,二是农作物水分胁迫状态的遥感监测。现有的许多干旱遥感监测指数就是通过不同的电磁波信息反映的干旱所引发的地表特征变化,来表征干旱现象。

4.1 旱灾单一监测指数

4.1.1 基于植被指数的干旱指数

植被指数与降水量存在较好的相关性,可以通过植被指数反映干旱造成的作物光谱变化,条件植被指数定义为:

$$VCI_{ijk} = \frac{NDVI_{ijk} - NDVI_{i,min}}{NDVI_{i,max} - NDVI_{i,min}} \quad (4)$$

VCI 基于植被绿度变化,具有延迟效应,而且需要丰富的历史数据,易受地表覆盖类型变化等影响。但 VCI 可以反映出 NDVI 因天气气候变化影响而产生的变化,消除或减弱地理位置或生态系统、土壤条件的不同对 NDVI 的影响,可以表达出大范围干旱状况。

4.1.2 综合植被—温度的干旱指数

综合植被温度特征的植被水分胁迫,基于特定的假设,由地表能量平衡方程可以推导出冠气温差与大气水汽压亏缺之间的关系,定义为作物水分胁迫指数 CWSI。植被指数—温度梯形空间通过植被指数与地表复合温度的联合,将 CWSI 理论扩展到部分植被覆盖区域,并由此发展出了水分亏缺指数 WDI。WDI 指数是在假设陆地表面温度是冠层温度与土壤表面温度线性加权及土壤与植被冠层之间不存在感热交换的情况下,结合陆气温差与植被指数得到的区域干旱评价指标。条件植被温度指数 VTCI 是 WDI 指数的简化^[8],相对于 WDI, VTCI 将冠气温差(Ts-Ta)直接用地表温度 LST 代替,用 NDVI 代替 SAVI。

$$VTCI = \frac{LST_{NDVI_{max}} - LST_{NDVI_i}}{LST_{NDVI_{max}} - LST_{NDVI_{min}}} \quad (5)$$

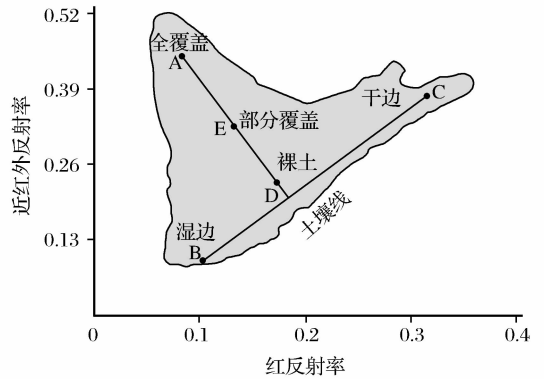
其中:LST_{NDVI_i}为某一 NDVI 值时的遥感反演的地表温度,LST_{NDVI_{max}}、LST_{NDVI_{min}}为对应 NDVI 处,

LST 的最大值和最小值。

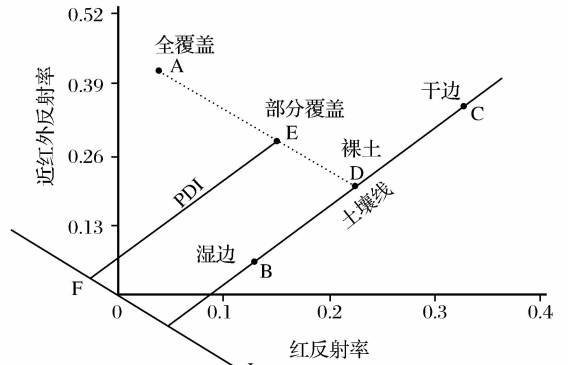
VTCI 综合了可见光、红外信息,基于 CWSI、WDI 的理论简化,更好地描述地表缺水胁迫现象,是一种近实时的干旱监测模型。VTCI 更贴近地表蒸散变化的机理,理论上是最优的干旱监测指标。

4.1.3 基于光谱特征空间的干旱指数

NIR-RED 光谱特征空间(图 4)中 B 到 C 反映了土壤水分由湿到干的变化,D 到 A 反映了植被覆盖度由裸地到全植被的变化。构建垂直于土壤基线的辅助线 L,L 通过原点。光谱特征空间中每一点到 L 的距离,表征了干旱程度的大小。距离越大,干旱越严重,反之则越湿润。



(a) NIR-RED 光谱空间构建



(b) PDI 指数示意图

图 4 NIR-RED 特征空间

Fig. 4 NIR-RED feature space

定义垂直干旱指数 PDI 为^[9]:

$$\begin{cases} PDI = \frac{1}{\sqrt{M^2 + 1}} (R_{red} + MR_{nir}) \\ R_{nir} = MR_{red} + I \end{cases} \quad (6)$$

PDI 具有明确的生物物理意义,且简单易用,在实际应用中,仅从光谱特征空间 NIR-RED 就可以有效地对土壤水分进行监测,但是该指数适用于裸地或稀疏植被覆盖区,无法综合植被覆盖的影响。引入植被覆盖度 f_v ,可以从 NIR-RED 特征空间混合像

元中去除植被信息的影响,从而发展为修正的垂直干旱指数 MPDI^[10]。

$$\begin{cases} \text{MPDI} = \frac{R_{\text{red}} + MR_{\text{NIR}} - f_v(R_{v,\text{red}} + MR_{v,\text{NIR}})}{(1 - f_v) \sqrt{M^2 + 1}} \\ R_{\text{nir}} = MR_{\text{red}} + I \end{cases} \quad (7)$$

PDI 指数对土壤水分可进行有效监测,但只适用于裸地或稀疏植被覆盖区,MPDI 在 PDI 基础上添加植被覆盖的影响因子,将该类指数扩展到了植被覆盖区。

短波红外垂直失水指数 SPSI 基于近红外(NIR)和短波红外(SWIR)反射率特征空间(图 5)建立,图中线 CD 平行于线 AB,由 A 到 B 或由 C 到 D,表示了干旱程度由轻到重的过程。定义辅助线 L, L 垂直于 CD,那么定义 NIR-SWIR 特征空间里,任一点到 L 的距离为 SPSI,显然,SPSI 值越大干旱越严重,反之则越湿润。

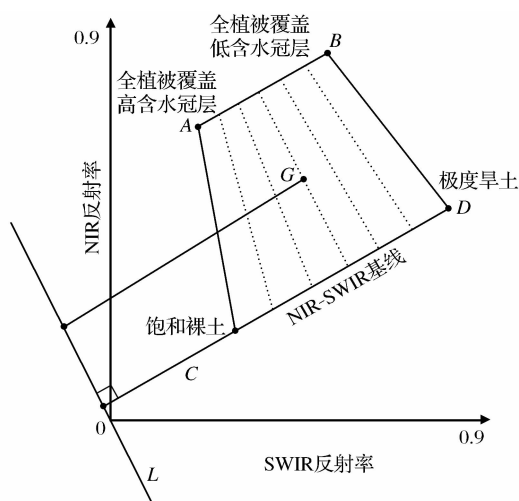


图 5 SPSI 原理

Fig. 5 SPSI theory

定义 SPSI 为^[11]:

$$\text{SPSI} = \frac{1}{\sqrt{M^2 + 1}} (R_{\text{SWIR}} + M \cdot R_{\text{nir}}) \quad (8)$$

$$R_{\text{nir}} = M \cdot R_{\text{SWIR}} + I$$

其中: M 为 SWIR-NIR 特征空间基线斜率, R_{nir} 为近红外波段反射率, R_{SWIR} 为 1 200 nm 左右的红外波段反射率。

SPSI 和植被冠层含水量 FMC 具有较高的相关性,在作物特大缺水、失水灾情和绝产灾情的遥感监测中具有一定的应用价值。SPSI 可直接反映植株水分的变化,其计算模型要求下垫面为高植被覆盖区,只适用于全覆盖植被冠层的叶片含水量(FMC)的遥感监测。

PDI、MPDI、SPSI 3 种指标没有归一化处理,改进公式使指标变化范围在 0~1 之间。

4.2 旱灾综合监测指数

农作物受到干旱胁迫后,植物个体及群体会发生一系列的变化,现有的遥感监测指数主要基于土壤水分变化、地表蒸散变化、植被绿度变化、植株水分变化 4 个方面监测农业干旱胁迫状态。由于农业干旱是一种复杂的自然现象,单一的指数模型仅从某一方面反映干旱信息。依据不同的背景特征来综合单一干旱指数,可以建立一个尽可能全面反映干旱信息的指数模型,从而提高干旱监测精度。本文从遥感监测干旱的角度,提出综合反映土壤水分变化、地表蒸散变化、植被绿度变化以及植株水分变化的光谱维—温度干旱指数 STDI (Spectral-dimension and Temperature Drought Index)^[12]。

首先建立归一化的修正垂直干旱指数 MPDI,得到 N_MPDI 。

$$N_MPDI = \frac{R_{\text{RED}} + M \cdot R_{\text{NIR}} - f_v(R_{v,\text{RED}} + M \cdot R_{v,\text{NIR}})}{(1 - f_v)(1 + M)} \quad (9)$$

其中: $R_{v,\text{RED}}$ 为植被红光反射率, $R_{v,\text{NIR}}$ 为植被近红外反射率, R_{RED} 、 R_{NIR} 为混合像元反射率, f_v 为植被覆盖度, M 为土壤线斜率。

其次建立改进的短波红外垂直失水指数 MSPSI,以尽量消除土壤的影响并归一化。

$$\text{MSPSI} = \frac{R_{\text{swir}} + M \cdot R_{\text{nir}} - (1 - f_v)(R_{s,\text{swir}} + M \cdot R_{s,\text{nir}})}{f_v(1 + M)} \quad (10)$$

其中: $R_{s,\text{swir}}$ 为裸土在 1.2 μm 左右的反射率, $R_{s,\text{nir}}$ 为裸土在近红外波段反射率, R_{RED} 、 R_{NIR} 为混合像元反射率, f_v 为植被覆盖度, M 为短波红外—近红外光谱特征空间基线斜率。

然后利用 EVI 代替 NDVI 更新 VTCI 和 VCI 模型,得到 VTCI_e 和 VCI_e 模型。

$$\text{VTCI}_e = \frac{\text{LST}_{\text{EVI}_i} - \text{LST}_{\text{EVI}_{\text{imin}}}}{\text{LST}_{\text{EVI}_{\text{imax}}} - \text{LST}_{\text{EVI}_{\text{imin}}}} \quad (11)$$

其中: $\text{LST}_{\text{EVI}_{\text{imax}}}$ 为某一 EVI_i 对应的 LST 的最大值, $\text{LST}_{\text{EVI}_{\text{imin}}}$ 为某一 EVI_i 对应的 LST 的最小值, $\text{LST}_{\text{EVI}_i}$ 为某一 EVI_i 对应的 LST 值。

$$\text{VCI}_e = \frac{\text{EVI}_{i,\text{max}} - \text{EVI}_i}{\text{EVI}_{i,\text{max}} - \text{EVI}_{i,\text{min}}} \quad (12)$$

其中: $\text{EVI}_{i,\text{min}}$ 、 $\text{EVI}_{i,\text{max}}$ 分别为第 i 个像素对应 EVI 多年最小和最大值。

N_MPDI 、 MSPSI 、 VTCI_e 、 VCI_e 的取值范围均为 0~1,并且由 0 到 1 表示干旱程度加剧。光谱

维—温度干旱指标 STDI,最终通过如下关系式计算得到:

$$STDI=a_1 \cdot N_MPDI+a_2 \cdot MSPSI+a_3 \cdot VTCL_e+a_4 \cdot VCI_e$$

其中: a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 为待定系数,一般可设为: $a_1=a_2=a_3=a_4=0.25$ 。具体可做适当调整,比如根据每种指数相对于土壤墒情的线性相关系数的大小,设定不同的系数。

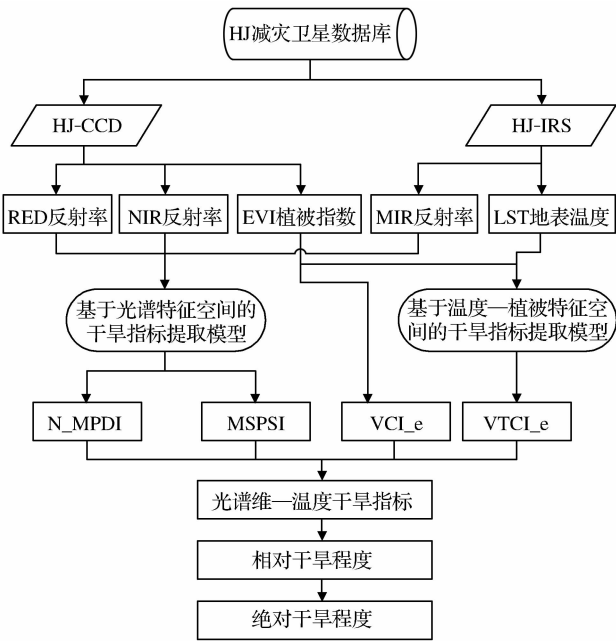


图 6 基于环境减灾卫星数据的光谱维—温度干旱指数提取流程

Fig. 6 Extraction flow of spectral-dimension and temperature drought index based on environment and disaster reduction satellite data

5 结果分析及验证

5.1 旱灾风险预警结果及验证

本文利用 2010 年 2 月 27 日的环境减灾卫星 CCD 数据,在 ENVI 环境下对数据进行校正、增强、裁剪等预处理工作,用遥感反演的方法进行植被指数及陆表温度的反演,根据计算式得出植被供水指数反演土壤相对湿度数据来源于国家气候中心 2 月下旬的 20 cm 土壤相对湿度分布图,并基于 ArcGIS 平台对数据进行数字化、空间重采样、格式转换、分级等处理。降水量距平百分比数据从国家气候中心下载。易损性指标数据来源于图册及文献资料,基于 ArcGIS 平台,对所有数据进行数字化、空间重采样、格式转换、分级等处理。利用权重叠加法计算,最终得到风险预警结果如图 7 所示。

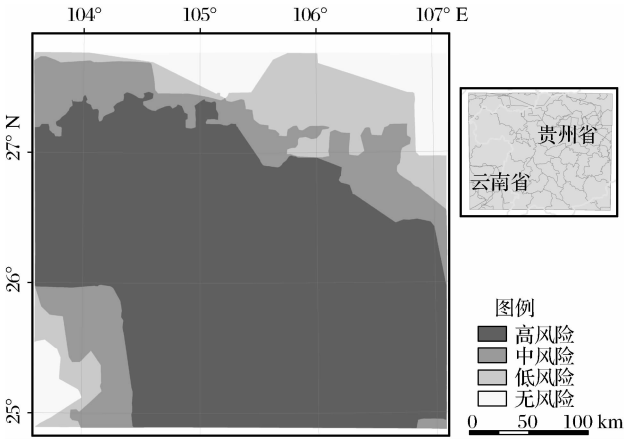


图 7 2010 年 2 月下旬西南地区旱灾风险预警产品

Fig. 7 Southwest drought risk early-warning products in late February 2010

由于灾情统计上报具有一定的延迟性,因此,选用民政部国家减灾中心整理的 2010 年 3 月 9 日我国西南大部、长江中下游及西北部分地区地方政府旱灾灾情上报结果对风险评估结果进行统计分析验证。在具有旱灾风险的 124 个县级行政单位中,有 113 个县实际受灾(图 8),预测精度(正检率)达到了 91%(表 2);同时,随着旱灾风险评估等级的增高,预测精度也显著提高。验证结果一方面说明环境减灾卫星数据具备开展旱灾风险评估应用的能力,另一方面也验证了基于权重叠加法的区域旱灾风险预警模型的准确性。图 8 为旱灾风险预警验证结果图。

5.2 旱灾监测结果及验证

选取 2010 年 3 月 1 日环境减灾卫星 CCD 数据和红外数据来生产 STDI 指数监测产品。利用环境



图 8 旱灾风险预警验证结果

Fig. 8 Result of drought risk early-warning and verification

表 2 旱灾风险预警验证结果

Table 2 Result of drought risk early-warning and verification

风险等级	风险区	受灾区	正检率/%
高风险区	49	46	94
中风险区	43	39	91
低风险区	32	28	88
汇总	124	113	91

减灾卫星 CCD 数据第 3 波段(红光波段)和第 4 波段(近红外波段)反射率数据生产 N_MPD I 指数;利用减灾卫星 IRS 的第 1 波段(近红外波段)和第 2 波段(短波红外波段)的反射率数据生产 MSPSI 指数;

VT CI 指数生产需要地表温度和植被指数,植被指数可以用 CCD 的第 3 和第 4 波段反射率得到;地表温度需要大气透过率、空气温度、IRS 第 4 波段原始数据、比辐射率;大气透过率使用参考值 0.8;空气温度为 12℃;比辐射率可以通过植被指数求得;VCI 指数需要历年同期植被指数,2008 年该区域同期 NDVI 指数使用相应的 TM 数据生产。STDI 权重系数选择为 $a_1=a_2=a_3=a_4=0.25$,计算得到干旱指数。将干旱指标与实测土壤墒情建立线性回归关系,根据国家土壤墒情旱情等级划分标准反推得到干旱指数的分等定级标准(表 3)。

表 3 土壤墒情对应干旱指数旱情等级划分表

Table 3 Grade standard of soil moisture and corresponding drought index

干旱等级	轻度干旱	中度干旱	严重干旱	特大干旱
土壤墒情/%	[55,60)	[45,55)	[40,45)	[0,40)
干旱指标	[0.1084,0.2451)	[0.2451,0.3864)	[0.3864,0.5714)	[0.5714,0.8017)

最终得到经过分等定级的干旱监测产品,如图 9 所示。

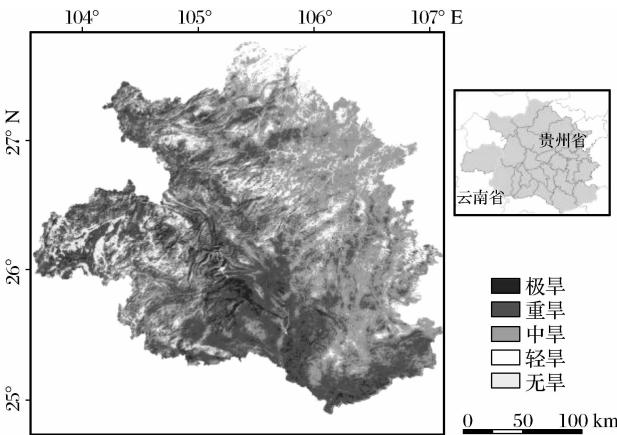


图 9 2010 年 3 月初西南地区干旱监测产品

Fig. 9 Southwest drought monitoring products in early March 2010

根据单位行政区划内不同等级干旱面积占行政区划面积的比例,对该行政区划的旱灾灾情进行等级划分(表 4)。

表 4 旱灾等级划分标准

Table 4 Drought grade standard

旱灾等级	重旱	中旱	轻旱
监测	极重面积 ≥ 40% 或严重面积 ≥ 10% 或严重面积 ≥ 40% 或中等面积 ≥ 70%	严重面积 ≥ 10% 或中等面积 ≥ 70% 或中等面积 ≥ 30%	10% > 严重面积或 30% > 中等面积

对 2010 年 3 月 1 日旱灾灾情监测结果进行统计表明,研究区内旱情较为严重,参与统计的 29 个县级行政单元内,有 14 个县级行政单元为重旱,有 15 个县级行政单元为中旱;选用民政部国家减灾中心整理的 2010 年 3 月 9 日我国西南大部、长江中下游及西北部分地区旱灾灾情上报结果进行统计分析,具有中、重旱情的 29 个县级统计单元内,有 25 个县实际受灾(图 10),监测精度达到了 86%(表 5),精度较高。

验证结果说明,应用环境减灾卫星数据的光谱维—温度旱灾综合指数开展旱灾灾情监测可以较为客观地反映受灾情况。

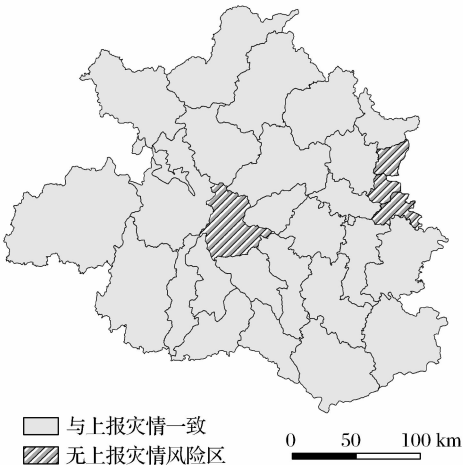


图 10 旱灾监测验证结果

Fig. 10 Result of drought monitoring and verification

表 5 旱灾监测验证结果

Table 5 Result of drought monitoring and verification

监测旱情等级	有旱情区域	受灾区	正检率/%
重旱	15	15	100
中旱	14	10	71
汇总	29	25	86

6 结 语

本文介绍了基于权重叠加法的区域旱灾风险评估模型和光谱维—温度旱灾监测指数模型,并以 2010 年中国西南旱灾为例开展产品应用,结合民政部国家减灾中心汇总的地方政府上报灾情数据进行结果验证,表明利用环境减灾卫星数据生产的区域旱灾风险评估产品和光谱维—温度旱灾监测指数产品与真实灾情数据较一致,具有较高的精度。然而,区域旱灾风险评估模型中区域尺度指标较多地采用了气象站点数据,其地理网格尺度较大,影响了产品结果的精度,需要在后续工作中采集更小尺度的数据;光谱维—温度旱灾监测指数中 4 种旱灾指数的权重系数与区域气候、地理、水文等环境因素有关,需要针对不同的区域开展验证试验加以确认。

此外,旱灾风险评估与监测产品还需进一步改进,以提高产品精度,从而为自然灾害救助应急预案的仿真和模拟提供更为精确的信息。

致谢:首都师范大学王志恒博士和北京师范大学舒阳同学在数据处理、方法验证方面给予了大力支持和帮助,在此表示衷心感谢!

参考文献(References):

[1] Fang Zhiyong, Fan Yida, Wang Xingling, *et al.* An Evaluation of On-orbit Test of HJ-1A/1B Satellites[J]. Spacecraft Engineering, 2009, 18(6): 23-26. [方志勇, 范一大, 王兴玲, 等. 环境减灾-1A、1B 卫星在轨测试评估[J]. 航天器工程, 2009, 18(6): 23-26.]

[2] Yan Nana, Wu Bingfang, Li Qiangzi, *et al.* HJ-1A/B Satellite Application on Drought Emergency Monitoring[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2010, 25(5): 675-681. [闫娜娜, 吴炳方, 李强子, 等. HJ-1A/B 卫星在干旱应急监测中的应用[J]. 遥感技术与应用, 2010, 25(5): 675-681.]

[3] Yang Liping, Wu Rina, Yan Weixiong. Research of Vegetation Supply Water Index to Monitoring of Drought[J]. Arid Environmental Monitoring, 2007, 21(4): 226-228. [杨丽萍, 乌日娜, 闫伟兄. 利用植被供水指数法监测干旱的研究[J]. 干旱环

境监测, 2007, 21(4): 226-228.]

[4] Tian Min, Nie Sufen, Liu Fei, *et al.* A Study on Identification of Risk Zones of Agriculture Drought Disaster in Dongchuan, Kunming[J]. Journal of Catastrophology, 2011, 26(1): 36-42. [田敏, 聂素芬, 刘菲, 等. 昆明市东川区农业旱灾风险区识别研究[J]. 灾害学, 2011, 26(1): 36-42.]

[5] Liu Yabin, Liu Liming, Xu Di, *et al.* Risk Assessment of Flood and Drought in Major Grain-producing Areas based on Information Diffusion Theory [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(8): 1-7. [刘亚彬, 刘黎明, 许迪, 等. 基于信息扩散理论的中国粮食主产区水旱灾害风险评估[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 1-7.]

[6] Cui Xinting, Su Yun. A Primary Study on Evaluating Disaster Bearing Body's Vulnerability to Agricultural Droughts under Small Spatial Scale: A Case Study of Shuangqiaoping Town in Changde City[J]. Geography and Geo-Information Science, 2005, 21(3): 80-87. [崔欣婷, 苏筠. 小空间尺度农业旱灾承灾体脆弱性评价初探——以湖南省常德市鼎城区双桥坪镇为例. 地理与地理信息科学, 2005, 21(3): 80-87.]

[7] He Bin, Zhao Lin, Liu Ming, *et al.* Synthetic Analysis and Quantitative Estimation on Risk of Agricultural Drought in Hunan Province[J]. Journal of Anhui Agriculture Science, 2010, 38(3): 1559-1562. [何斌, 赵林, 刘明, 等. 湖南省农业旱灾风险综合分析 with 定量评价[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(3): 1559-1562.]

[8] Wang Pengxin, Gong Jianya, Li Xiaowen. Vegetation Temperature Condition Index and Its Application for Drought Monitoring[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2001, 26(5): 412-419. [王鹏新, 龚健雅, 李小文. 条件植被温度指数及其在干旱监测中的应用[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2001, 26(5): 412-419.]

[9] Ghulam A, Qin Q M, Zhan Z M. Designing of the Perpendicular Drought Index[J]. Environmental Geology, 2007, 52(6): 1045-1052.

[10] Ghulam A, Qin Q M, Teyip T, *et al.* Modified Perpendicular Drought Index (MPDI): A Real-time Drought Monitoring Method. [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2007, 62(2): 150-164.

[11] Ghulam Abdwasit, Li Zhaoliang, Qin Qimin, *et al.* A Remote Sensing Method of Full Coverage of Vegetation Canopy Moisture: Shortwave Infrared Perpendicular Water Stress Index [J]. Science in China(Series D): Earth Sciences, 2007, 37(7): 957-965. [阿布都瓦斯提·吾拉木, 李召良, 秦其明, 等. 全覆盖植被冠层水分遥感监测的一种方法: 短波红外垂直失水指数[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37(7): 957-965.]

[12] Sun Hao. Comprehensive Remote Sensing Monitoring Index of Agriculture Drought—Theoretical Analysis and Application[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2011. [孙灏. 农业旱情遥感监测综合指标——理论分析及应用[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2011.]

Application of Enviroment and Disaster Satellites Data in Drought Early-warning and Monitoring

Wen Qi¹, Fan Yida¹, Chen Shirong¹, Sun Hao², Hu Zhuowei³

(1. *National Disaster Reduction Center of China (NDRCC), Ministry of*

Civil Affairs, Beijing 100124, China; 2. *State Key Laboratory of Earth Surface Processes and*

Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3. *College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100044, China*)

Abstract: Environment and Disaster Reduction Satellite Constellation has the ability of wide coverage and rapid revisit, so that it can fulfill the demand of large scale disaster observation such as drought. Based on the weight overlaying method, regional drought risk assessment method comprehensively considers disastrous factors, disaster formative environment, hazard-bearing body and other factors, and achieves drought risk level distribution map which can be used in early-warning of drought. Spectral dimension-temperature drought index takes into account of four factors, including soil moisture, surface evaporation, vegetation greenness and plant moisture changes, so it can be applied in drought monitoring. For serious drought of Southwest China in early 2010, this paper carries out drought early warning and monitoring using Environment and Disaster Reduction Satellites data, and verifies risk assessment and monitoring results using local government reported disaster information from NDRCC, which shows that the results are in line with the actual disaster information with high accuracy. Risk assessment and monitoring results still need further improvements to meet the accuracy requirement of natural disaster relief emergency plan simulation and emulation.

Key words: Environment and Disaster Reduction Satellites; Drought in Southeast China; Risk assessment; Monitoring Index; Disaster reduction application; Emergency plan; Simulation and emulation