

基于温度植被干旱指数的四川伏旱遥感监测与影响评估

张顺谦, 卿清涛, 侯美亭, 冯建东

(四川省气候中心, 成都 610071)

摘要: 利用2006年7~8月的NOAA/AVHRR数据, 依据温度植被干旱指数(TVDI)对2006年四川伏旱进行监测与评估。采用了干旱监测合成滤波新技术, 分析了Ts—NDVI特征空间属性和TVDI指数干旱监测能力, 提出了四川伏旱TVDI计算模型、分级标准、和影响评估方法, 结果表明: 1) 按最大地表温度原则得到的旬合成数据比按最大植被指数原则得到的旬合成数据具有更强的旱情监测能力; 2) 在Ts—NDVI特征空间中当NDVI较小时干湿边几乎同为水平直线, 两者相差约45℃; 3) TVDI指数因其大小不同而对旱情的监测能力也不一样, 较小时说明没有干旱发生, 较大时则一定有干旱发生, 中间段对干旱的监测具有不确定性; 4) 2006年四川伏旱遥感监测与气候监测结果基本一致, 农作物受旱面积与饮水困难人口数估算误差在10%以内。

关键词: 干旱; TVDI指数; 遥感监测; 影响评估; 四川

中图分类号: S127; TP79

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2007)9-0141-06

张顺谦, 卿清涛, 侯美亭, 等. 基于温度植被干旱指数的四川伏旱遥感监测与影响评估[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 141-146.

Zhang Shunqian, Qing Qingtao, Hou Meiting, et al. Remote sensing and impact estimation for Sichuan hot-drought based on temperature vegetation dryness index[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(9): 141-146. (in Chinese with English abstract)

0 引言

四川是一个灾害频发的农业大省, 而旱灾较其它自然灾害影响的范围广、历时长, 对农业生产影响最大。每年遭受各种自然灾害的农田面积和粮食作物减产损失中, 旱灾要占一半以上。2006年四川更是遭受了有气象记录以来最为严重的干旱灾害, 给工农业生产、人民生活、城乡供水和生态环境等造成重大损失。加强对旱灾的监测预测与损失评估, 为政府抗旱救灾决策提供科学依据, 对于减轻干旱造成的损失和危害具有重要意义。

卫星遥感是获得陆面分布式信息最经济的技术手段, 极轨卫星遥感数据以其空间覆盖范围广、时间重复周期短等特点在大面积旱情监测方面具有特殊的优势, 利用遥感手段进行大范围旱情监测的研究已经取得很大进展, 提出了许多监测方法和指标, 并在国内外获得了广泛应用, 如: 马蔼乃^[1]用NOAA/AVHRR数据根据表观热惯量推导出真实热惯量, 并利用与土壤含水率

的关系计算出裸土的土壤含水率, 肖乾广^[2]等从土壤热性质出发, 在求解热传导方程的基础上, 引入“遥感土壤水分最大信息层”的概念, 并以此理论建立多时相的综合土壤湿度统计模型, 田国良^[3]等建立了物物缺水指数与土壤水分之间的线性方程, 盛绍学^[4]等利用热惯量和植被供水指数方法研究确定了安徽省农业干旱遥感监测指标, 冯强^[5]等利用植被条件指数进行全国旱情监测。这些研究采用的旱情指标或者是建立在陆面温度基础上, 或者建立在植被指数基础上, 或者从实际蒸散和潜在蒸散的比值着手。以陆面温度作为水分胁迫指标虽然具有更高的时效性^[6], 但在植被覆盖不完全条件下, 较高的土壤背景温度会严重干扰旱情信息^[7], 而以NDVI作为水分胁迫指标又表现出一定的滞后性^[8], 以蒸散比作为水分胁迫指标虽然具有坚实的理论基础, 但许多参数难于获得, 业务应用较为困难。

目前, 基于陆面温度和植被指数综合利用的旱情监测方法, 尤其是温度植被旱情指数方法得到了广泛应用, 如: 齐述华^[9]、姚春生^[10]等利用温度植被旱情指数进行全国旱情监测和新疆土壤湿度的反演, 孙威^[11]等还对温度—植被指数特征空间中冷边界和热边界的确定方法作了改进。然而, 在这些应用和研究中, 对于旱情等级标准的确定未作深入探讨, 具有很大的为主观性, 本文利用NOAA/AVHRR资料, 结合全省农业气象台站测定的土壤湿度数据, 通过对温度植被旱情指数

收稿日期: 2007-01-23 修订日期: 2007-05-16

项目基金: 中国气象局项目“干旱监测评估业务平台建设”、“省级生态与农业气象业务服务系统建设”; 四川省气象局项目“四川盆地干旱灾害损失评估方法与应用研究”

作者简介: 张顺谦(1964-), 四川南溪人, 高级工程师, 主要从事气象灾害和生态环境的卫星遥感应用开发与研究。成都 四川省气候中心, 610071。Email: zsqian@126.com

计算方法的改进和旱情分级标准的研究,以期建立四川伏旱遥感监测模型,并在土地利用、地面高程、社会经济等基础数据支持下,尝试开展干旱影响定量评估。

1 干旱遥感监测

1.1 原理

Price^[12]和Carlson^[13]研究发现,如果研究区的植被覆盖和土壤湿度的变化范围较大,则以遥感资料获得的NDVI和Ts为横纵坐标的散点图呈三角形。Sandholt^[8]等根据简化的Ts-NDVI特征空间提出了温度植被旱情指数(Temperature-Vegetation Dryness Index, TVDI)的概念,其计算公式如下

$$TVDI = \frac{T_s - T_{smin}}{T_{smax} - T_{smin}} \times 100 \quad (1)$$

式中 T_{smin} ——最小地表温度,对应的是湿边; T_s ——任意像元的地表温度; T_{smax} ——某一NDVI对应的最大地表温度,即干边, $T_{smax} = a + b \cdot NDVI$; a 、 b ——干边拟合方程的系数。 $TVDI$ 取值范围为0~1, $TVDI$ 越大,表明越接近干边,旱情就越严重。

Sandholt^[8]简化模型将Ts-NDVI特征空间处理为三角形,Moran^[7]等从理论的角度分析,认为地表温度与植被指数的散点图呈梯形的关系。本文将根据四川

伏旱期(7~8月)Ts-NDVI散点图的具体特征,分别对旱、湿边方程加以拟合。

1.2 数据处理

利用国家卫星气象中心DVB-S系统广播下发的2006年7~8月逐日的NOAA/AVHRR 1A5资料,经辐射定标、地理定位和投影变换后,生成四川区域局地文件,在此基础上计算出逐日NDVI植被指数,并采用杨虎^[14]等人提出的改进的Becker^[15]算法计算逐日地表温度Ts。

四川是一个多云和气溶胶污染较重的地区,为了获得纯净大气晴空区数据,必须作合成滤云处理。以往多根据最大植被指数原则合成滤云,但对于干旱监测来说,这种方法往往造成合成数据反映的旱情比真实旱情要轻,因为作物受旱越严重NDVI越小,当采用最大植被指数原则合成时,其合成结果必定是选择无旱或旱情较轻时次的数据而不会选择旱情较重时次的数据。事实上,作物冠层温度反映干旱的时效性更好,经试验发现:按最大Ts法比按最大NDVI法合成的旬数据更为合理、更能反映一句的旱情。表1列出了按两种方法对2006年7月20日和30日两天的遥感数据合成时部分台站的合成结果,并利用7月18日和28日的实测土壤湿度数据对结果的合理性进行检验。

表1 两种合成滤云方法的结果对比

Table 1 Result comparison of two filtering-cloud and composing methods

站名	7月20日			7月30日			应选 时次	按最大NDVI 合成	按最大Ts 合成
	Ts/K	NDVI	土壤湿度/%	Ts/K	NDVI	土壤湿度/%			
平武	304.2	0.22	69	303.2	0.27	71	20	30	20
名山	303.3	0.28	83	306.0	0.24	69	30	20	30
荣县	307.8	0.34	89	309.2	0.21	63	30	20	30
广安	310.4	0.35	72	311.3	0.31	60	30	20	30
简阳	302.5	0.18	66	307.1	0.29	57	30	30	30
苍溪	305.7	0.15	37	309.5	0.27	32	30	30	30
乐至	304.3	0.15	42	312.0	0.24	35	30	30	30
安岳	308.8	0.23	59	310.3	0.33	47	30	30	30
隆昌	307.2	0.28	76	311.1	0.31	64	30	30	30

表1中的应选时次是按土壤湿度最小原则所选的时次,两种方法合成结果是否合理以它作为检验标准。从表1可以看出,当按最大植被指数原则合成时,平武、名山、荣县、广安4站合成后没有选择土壤湿度小、旱情重的时次,反而选择了土壤湿度大、旱情轻的时次,当按最大Ts法合成时,前述4个站均作了正确选择,且另外5站仍保持正确,可见:按最大Ts法合成比按最大NDVI法合成更为合理。

1.3 旱湿边方程的建立

由2006年7~8月全省共6旬的Ts、NDVI数据,

按0.001的NDVI步长提取不同植被指数下的最大最小地表温度,得到图1所示的Ts-NDVI特征空间。

从图1可以看出:干湿边都不是直线,干边大致可分为三段,即:0<NDVI<0.08,0.08<NDVI<0.49和0.49<NDVI<0.80,其中第一段的斜率为正,它反映出当植被覆盖度很低时,其NDVI不能反映植物生物量,该区段不宜用作旱情监测,湿边大致可分为二段,即:0<NDVI<0.43和0.43<NDVI<0.80,同时,在0.08<NDVI<0.43区段(农区),干湿边几乎为二条平行的水平直线,而在0.43<NDVI<0.80区段(林区),

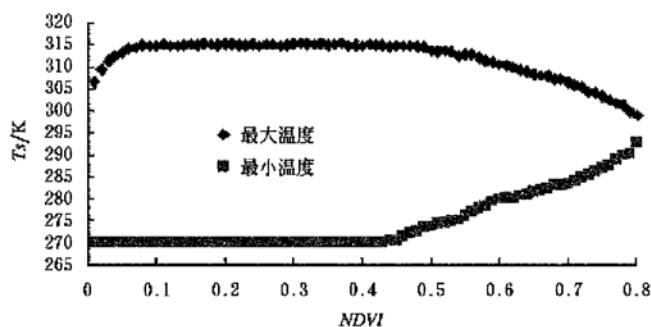


图1 2006年7~8月的Ts—NDVI特征空间

Fig. 1 Ts—NDVI characteristic space of July and August in 2006

两条线逐渐靠近, 这表明, 对于农作物来说, 其冠层的可能增温(最大温度与最小温度之差)固定少变(约为45℃), 而森林的可能增温随植被指数的增大而减小。

根据以上分析, 对干、湿边方程进行分段拟合, 其结果如下:

干边:

$$T_{\max} = \begin{cases} 315.15 - 3.91 \times NDVI \\ R^2 = 0.0405 & NDVI \leq 0.49 \\ 338.63 - 47.01 \times NDVI \\ R^2 = 0.9714 & 0.49 < NDVI \leq 0.80 \end{cases} \quad (2)$$

湿边:

$$T_{\min} = \begin{cases} 270.1 & R^2 = 0 & NDVI \leq 0.43 \\ 246.14 + 54.96 \times NDVI \\ R^2 = 0.9853 & 0.43 < NDVI \leq 0.80 \end{cases} \quad (3)$$

1.4 建立TVDI旱情分级标准

利用2006年7~8月按最大Ts法合成得到的逐旬NDVI和Ts遥感资料, 根据上述干湿边方程(2)、(3)和式(1)计算出逐旬各像素的TVDI指数, 并将地面站点实测10cm土壤湿度与TVDI指数作相关分析。土壤湿度资料来自全省31个农业气象站每旬逢8的实测值, 而TVDI指数是每旬最早时的值, 为了弥合两种数据由于获取时间上的错位而造成的不一致, 我们利用气候干旱监测结果, 凡在逢8日土壤湿度观测时间前旱情已经解除的台站, 则该站该旬的数据舍弃不用, 另外, 将旬合成图像中有云站点和湿度数据明显有误的站点去掉后, 共获得可供对比分析的数据对110个。为了消除空间定位误差的影响, 以地面站点周围3×3共9个像元的平均TVDI值作为该站点的TVDI值, 图2显示了10cm土壤湿度(Y)与TVDI干旱指数之间的对应关系。

根据中国气象局提供的旱情分级标准: 当 $Y \leq 40$ 为重旱, $40 < Y \leq 50$ 为中旱, $50 < Y \leq 60$ 为轻旱, $60 <$

$Y \leq 80$ 为正常, $Y > 80$ 为湿润。该标准以土壤湿度60%为界来区分干旱的发生与否, 据此, 可以将图2划分为三段: 第一段 $TVDI < 60$, 此时土壤湿度绝大部分都在60%以上; 第二段 $60 < TVDI < 70$, 此时土壤湿度在60%上下几乎各占一半; 第三段 $TVDI > 70$, 此时土壤湿度基本上都在60%以下, 且呈现出土壤湿度越小TVDI指数越大的特征。这表明当TVDI指数大于70时, 具有较强的旱情监测能力, 而当TVDI指数小于60时, 肯定没有干旱发生, 当TVDI指数在60与70之间时, 对干旱的监测能力较弱。通过对数据的分析发现, TVDI指数介于60与70之间的点大多属于7月中下旬, 此时正处于干旱孕育阶段或干旱初期, 由作物受旱导致的遥感光谱特征改变还不明显, 这可能是引起该区段TVDI指数对旱情的监测能力较弱的原因所在。

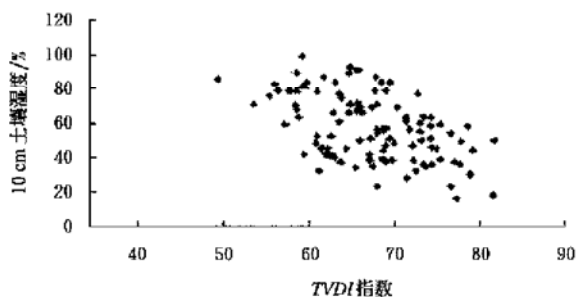


图2 2006年7~8月10 cm土壤湿度与TVDI干旱指数散点图

Fig. 2 Scatter point chart of 10 cm soil moisture and TVDI drought index, in July and August of 2006

为了定量确定TVDI指数的旱情等级标准, 我们利用对干旱的发生与否有较强识别能力的两段数据, 即 $TVDI < 60$ 和 $TVDI > 70$ 两个区段的数据进行土壤湿度Y值与TVDI指数的线性拟合, 得到如下拟合方程:

$$Y = 165.46 - 1.5694 \times TVDI \quad R^2 = 0.4788$$

用不同旱情等级的Y值标准, 代入该拟合方程, 即可反算得到各旱情等级的TVDI分级标准, 结果如表2。

表2 四川伏旱TVDI分级标准

Table 2 TVDI grading standard on Sichuan hot-drought					
	无旱	轻旱	中旱	重旱	特旱
TVDI 分级标准	< 67	67~74	74~80	80~86	> 86

1.5 旱情监测结果

利用2006年7~8月逐旬NDVI及Ts遥感资料, 按(2)式和(3)式先计算出每旬 T_{\max} 和 T_{\min} , 再按(1)式计算出各像素的TVDI指数, 依据表2所列旱情分级标准, 即可得到每旬旱情监测结果。图3给出了2006年7月下旬至8月下旬每旬旱情NOAA17卫星遥感监测结果。

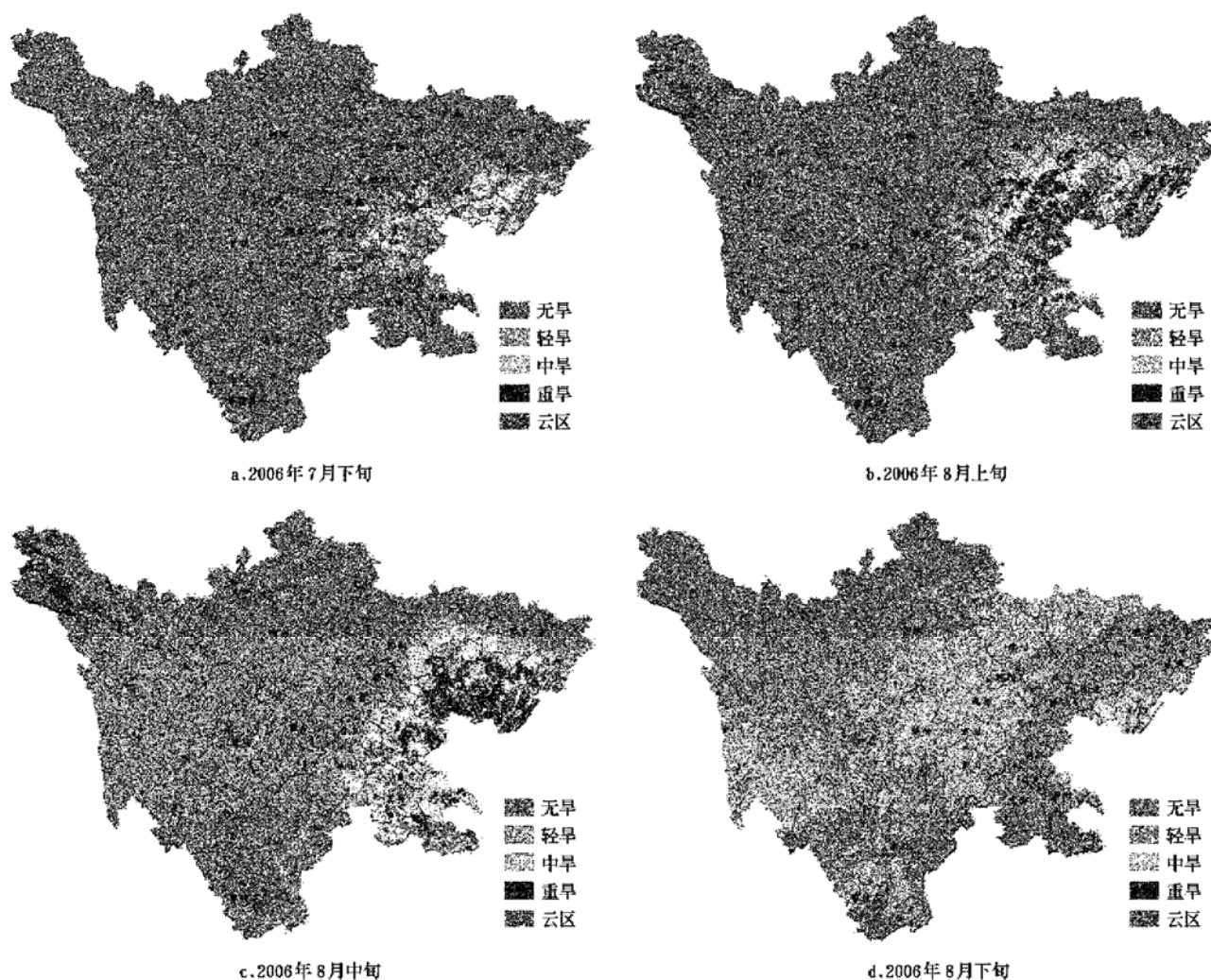


图3 2006年7月下旬至8月下旬四川伏旱遥感监测图像

Fig. 3 Remote sensing monitoring map of Sichuan hot-drought from the last ten-days of July to the last ten-days of August in 2006

从图3可以看出旱情的动态变化情况:7月下旬盆地中、东部已出现较大范围中等强度以上的伏旱,8月上旬盆地伏旱发生范围显著扩大,干旱强度明显加强,同时在川西高原特别是甘孜州也有较强伏旱发生,至8月中旬,伏旱发展到顶峰,此时,伏旱发生范围最广强度最强,到8月下旬,伏旱旱情基本得以解除,即便盆地东部局部仍未解除旱情的地区,其强度也明显解弱。将8月中旬的旱情遥感监测图与图4所示的同期地面气候旱情监测图比较,可以发现两者的分布状况基本一致。遥感监测到的伏旱发展进程和旱情强度空间分布与地面监测和调查结果基本吻合。

2 干旱影响评估

客观评估干旱对社会经济造成的影响是开展灾后救助的基础,但鉴于对于干旱影响认识的不确定性和干旱影响评估的复杂性,至今没有统一的干旱影响评估方法

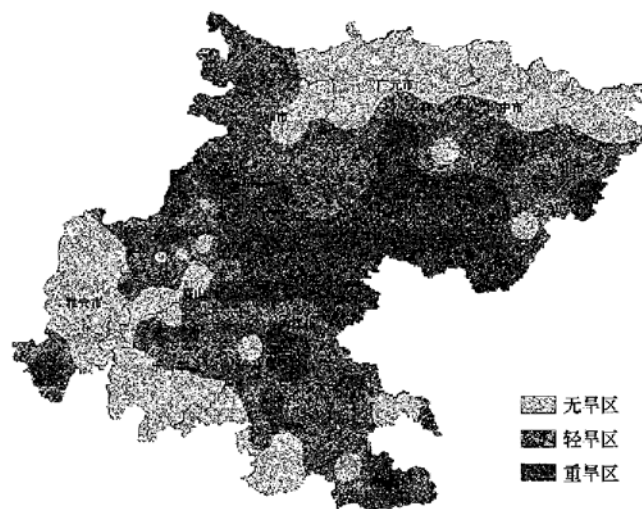


图4 2006年8月中旬四川盆地气候干旱旱区分布图

Fig. 4 Distributing map of Sichuan basin climate drought in middle ten-days of August in 2006

和标准。本文根据干旱遥感监测结果, 结合土地利用、地面高程、作物种植面积和人口数据, 对作物受旱面积和受旱人口进行评估。

2.1 作物受旱面积评估

作物种植密度计算:

$$P_c = S_c/S_p$$

式中 P_c ——旱地作物或水田作物种植密度; S_c ——实有旱地或水田耕地面积, 由农业统计数据而得; S_p ——旱作种植区或田作种植区面积, 由土地利用类型数据计算而得。

作物受旱面积计算:

$$A_{ci} = P_c \times S_{ci}$$

式中 A_{ci} ——遭受不同等级干旱的旱地作物或水田作物的面积; P_c ——旱地作物或水田作物种植密度; S_{ci} ——遭受不同等级干旱的旱地或水田耕地面积, 由干旱遥感监测图叠加土地利用图后提取而得。

利用 2006 年 8 月中旬伏旱最盛时的遥感监测结果, 以作物遭受中旱即为成灾, 遭受重旱即为绝收估算的 2006 年伏旱对四川农作物的影响评估结果是: 受旱 45571.65 万 hm^2 , 成灾 27012.60 万 hm^2 , 绝收 7860.30 万 hm^2 。与四川省人民政府救灾办公室公布的数据: 受旱 46500 万 hm^2 , 成灾 26224.5 万 hm^2 , 绝收 7005 万 hm^2 相比, 分别相差 -2.0%、3.0% 和 12.2%。

2.2 受旱人口评估

本文首先假定只有居住在坡地上的农民才会因旱造成饮水困难, 并按下述方法评估受旱人口。

人口密度计算:

$$P_r = N_r/S_n$$

式中 P_r ——人口密度; N_r ——农业人口数; S_n ——国土面积。

受旱人口计算:

$$N_{ri} = P_r \times S_{ri}$$

式中 N_{ri} ——遭受不同等级干旱的受旱人口数; P_r ——人口密度; S_{ri} ——不同等级干旱的坡耕地面积, 由干旱遥感监测图叠加地面坡度图后提取而得。

假设坡地上遭受中旱的农民将出现临时饮水困难, 遭受重旱的农民将出现严重饮水困难, 据此, 对 2006 年 8 月中旬的受旱人口评估结果是: 临时饮水困难 1021.36 万人, 严重饮水困难 469.41 万人。根据四川省人民政府救灾办公室公布的数据, 2006 年四川伏旱共造成 1000 多万人出现临时饮水困难, 486 万人出现严重饮水困难。与此数据相比, 评估误差分别为: 2.1% 和 -3.4%。

3 结论与讨论

根据前述讨论, 本文得出如下主要结论:

1) 对于干旱遥感监测来说, 按最大地表温度法比按最大植被指数法得到的旬合成数据具有更强的旱情监测能力。

2) 四川伏旱期 T_s -NDVI 特征空间中的干、湿边均不是直线, 当 NDVI 较小时, 干、湿边几乎同为水平直线, 两者相差约 45°C , 而当 NDVI 较大时, 干边温度线性下降, 湿边温度则线性上升。

3) TVDI 指数因其大小不同而对旱情的监测能力也不一样。当 TVDI 指数小于 60 时, 可以肯定没有干旱发生, 当 TVDI 指数在 60 与 70 之间时, 其对干旱的监测具有不确定性, 当 TVDI 指数大于 70 时, 一般都有干旱发生, 且呈现出指数越大旱情越重的特征。

4) 四川伏旱强度 TVDI 指数分级标准是: TVDI < 67 时无旱, $67 < \text{TVDI} < 74$ 时为轻旱, $74 < \text{TVDI} < 80$ 时为中旱, $80 < \text{TVDI} < 86$ 时为重旱, TVDI > 86 时为特旱。

5) 通过对 2006 年四川伏旱遥感监测结果与气候监测结果的对比分析发现, 两者在旱区分布范围、旱情强度等级、干旱发展进程等方面基本吻合, 表明本文采用的干旱遥感监测方法和旱情等级指标基本可行。

6) 利用作物种植区旱情遥感监测结果和种植密度数据评估作物受旱、成灾、绝收面积, 利用坡地旱情遥感监测结果和农业人口密度数据评估干旱造成的饮水困难人口数, 方法简单, 结果可信。

本文提出了一种更适合干旱遥感监测的合成滤云方法, 即最大地表温度法, 提示了四川伏旱 T_s -NDVI 特征空间的独有特点和不同区段 TVDI 指数的旱情监测能力, 得出了四川伏旱 TVDI 指数分级标准。将其应用到 MODIS 数据的干旱监测是下一步要作的工作, 同时, 需要在区分作物种类的基础上, 针对不同作物提出不同的旱情分级标准与损失评估方法。

[参 考 文 献]

- [1] 马嵩乃, 薛 勇. 黄河流域典型地区遥感动态研究[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 133-139.
- [2] 肖乾广, 陈维英, 盛永伟, 等. 用气象卫星监测土壤水分的试验研究[J]. 应用气象学报, 1994, 5(2): 312-317.
- [3] 田国良. 土壤水分的遥感监测方法[J]. 环境遥感, 1991, 6(2): 89-99.
- [4] 盛绍学, 马晓群, 荀尚培, 等. 基于 GIS 的安徽省干旱遥感监测与评估研究[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(1): 151-157.
- [5] 冯 强, 田国良, 柳钦火. 全国干旱遥感监测运行系统的研

- 制[J]. 遥感学报, 2003, 7(1): 14– 18.
- [6] 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.
- [7] Moran M S, Clarke T R, Inoue Y. Estimating crop water deficit using the relation between surface air temperature and spectral vegetation index[J]. *Remote Sens Environ*, 1994, 49(3): 246– 263.
- [8] Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status [J]. *Remote Sens Environ*, 2002, 79(2): 213– 224.
- [9] 齐述华, 王长耀, 牛 铮. 利用温度植被旱情指数(TVDI)进行全国旱情监测研究[J]. 遥感学报, 2003, 7(5): 420– 427.
- [10] 姚春生, 张增祥, 汪 潇. 使用温度植被干旱指数法(TVDI)反演新疆土壤湿度[J]. 遥感技术与应用, 2004, 19(6): 473– 478.
- [11] 孙 威, 王鹏新, 韩丽娟, 等. 条件植被温度指数干旱监测方法的完善[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 22– 26.
- [12] Price J C. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration[J]. *IEEE Transactions on Geo-science and Remote Sensing*, 1990, 28: 940– 948.
- [13] Carlson T N, Gillies R R, Perry E M. A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurements to infer surface soil water content and fractal vegetation cover[J]. *Remote Sensing Review*, 1994, 52: 45– 59.
- [14] 杨 虎, 杨忠东. 中国陆地区域陆表温度业务化遥感反演算法及产品运行系统[J]. 遥感学报, 2006, 10(4): 600– 607.
- [15] Becker F, Li Z L. Towards a local split window method over land surface[J]. *Int J Remote Sensing*, 1990, 11: 369– 393.

Remote sensing and impact estimation for Sichuan hot-drought based on temperature vegetation dryness index

Zhang Shunqian, Qing Qingtao, Hou Meiting, Feng Jiandong

(Climate Center of Sichuan Province, Chengdu 610071, China)

Abstract: Utilizing the NOAA/AVHRR data of July and August of 2006, according to the temperature vegetation dryness index (TVDI), the Sichuan hot-drought in 2006 has been monitored and estimated. The article adopted a new filtering-cloud composing technology used to monitoring drought, analyzed the property of Ts—NDVI characteristic space and the TVDI's indicating drought ability, put forward the TVDI compute model, grade standard, and the impact estimation method. The result indicated: 1) the decade-composed data obtained by the maximum surface temperature principle has better ability than the composed data obtained by the maximum NDVI on monitoring drought; 2) in the Ts—NDVI characteristic space, the dry side and the wet side almost are horizontal lines when the NDVI is on the small side, the temperature difference is about 45°C; 3) the TVDI has inequable level on monitoring drought as its value, the less TVDI indicates without drought occurrence, the bigger TVDI shows the drought certainly happened, the unsure drought conclusion mainly comes from the middle TVDI; 4) the monitored results of Sichuan hot-drought in 2006, obtained by the remote sensing and by the climate index, are basically consistent, the estimating error on the bearing drought crop area and on the drinking trouble population is within 10%.

Key words: drought; TVDI Index; remote sensing monitoring; impact estimation; Sichuan province