

# 基于 TVDI 的西藏地区旱情遥感监测

扎西央宗<sup>1,2</sup> 杨秀海<sup>1</sup> 边巴次仁<sup>1</sup> 胡豪然<sup>3</sup> 卓玛<sup>4</sup>

(1 西藏高原大气环境科学研究所,拉萨 850000; 2 中国气象局兰州干旱气象研究所,兰州 730020;

3 中国气象局成都高原气象研究所,成都 610072; 4 西藏自治区气候中心,拉萨 850000)

**摘要** 西藏大部分地区属干旱或重干旱区,干旱发生较为频繁,是影响农牧业生产最严重的灾害之一。文章利用拉萨接收站的中分辨率成像光谱仪(MODIS)资料提取的归一化植被指数(NDVI)和地表温度(ST),构建 ST-NDVI 特征空间,依据该特征空间设计的温度植被旱情指数作为旱情指标,找出适合该地区的旱情判别模式,以 2005~2008 年 6~7 月同时段西藏地区卫星资料、气象旱情监测结果以及土壤相对湿度观测数据为例,进行旱情对比分析。结果表明,利用温度植被旱情指数(TVDI)法对西藏地区进行夏季干旱动态监测是可行的。

**关键词** 干旱 遥感 归一化植被指数 地表温度 温度植被旱情指数

## 引言

旱灾是西藏最严重的农业气象灾害之一,每年均有不同程度的发生,对农牧业生产的影响极大<sup>[1]</sup>。西藏高原地形复杂,气候独特及基础台站观测资料不足,给干旱监测带来许多困难,因此利用遥感技术能够有效获取大范围旱情信息。利用遥感技术对大面积干旱监测、旱情变化评估和预警具有快速、及时、宏观等优势<sup>[2]</sup>。

国内外利用遥感技术监测干旱的方法较多,国内开展了基于遥感资料进行的干旱、积雪、林火、雾等灾害性天气<sup>[3~6]</sup>和不同下垫面类型不同的干旱遥感监测技术方法的适用范围及监测的优劣等方面的研究<sup>[7]</sup>。目前主要采用热红外方法(热惯量模式)<sup>[8~9]</sup>、归一化植被指数(NDVI)方法进行干旱的监测<sup>[10]</sup>。利用土壤热惯量法进行土壤水分状况的监测存在很大的限制,利用 NDVI 作旱情指标又表现出一定的滞后性<sup>[11]</sup>。近年来,Price、Carlson 和 Sandholt 等学者尝试利用植被指数(NDVI)和地表温度(ST)综合信息来监测区域旱情<sup>[12~14]</sup>,即以遥感资料反演的 NDVI 和 ST 构成的特征空间,反映土壤水分状况。Goetz 研究了不同分辨率(AVHRR、TM、SPOT 等)下 ST-NDVI

斜率与土壤水分的关系<sup>[15]</sup>;Sandholt 等基于植被指数和地面温度的关系,提出了温度植被旱情指数(TVDI)估算土壤表层水分状况<sup>[14]</sup>。国内冯蜀青利用 TVDI 反演了青海地区土壤的湿度<sup>[2]</sup>取得较好的效果。

本文利用 EOS/MODIS 卫星遥感资料,采用温度植被旱情指数(TVDI)方法对西藏地区旱情进行尝试性研究,为政府及相关部门提供旱情监测分析报告,以弥补常规观测资料对旱情监测的不足。

## 1 原理、监测区域划分和资料处理

### 1.1 原理

Price 和 Carlson 研究发现,假设研究区域地表覆盖从裸地变化到比较稠密的植被覆盖,土壤水分从萎蔫含水量到田间持水量的情况下,通过绘制 NDVI 和 ST 的特征空间分布图,提出温度植被旱情指数(TVDI)<sup>[16]</sup>。其表达式为:

$$I_{TVDI} = (\max T_{SNDVI} - T_{SNDVI}) / (\max T_{SNDVI} - \min T_{SNDVI}) \quad (1)$$

$$\text{其中: } \max T_{SNDVI} = a_1 + b_1 I_{NDVI} \quad (2)$$

$$\min T_{SNDVI} = a_2 + b_2 I_{NDVI} \quad (3)$$

将(2)和(3)式代入到(1)式可以得到:

$$I_{TVDI} = \frac{[T_s - (a_1 + b_1 I_{NDVI})]}{[(a_2 + b_2 I_{NDVI}) - (a_1 + b_1 I_{NDVI})]} \quad (4)$$

式中  $\max T_{\text{SNDVI}}$ 、 $\min T_{\text{SNDVI}}$  分别表示当  $I_{\text{NDVI}}$  等于某一特定值时的地面温度最大值和最小值。 $a_1$ 、 $b_1$ 、 $a_2$  和  $b_2$  分别是干边和湿边拟合方程系数。 $I_{\text{TVDI}}$  的范围为(0~1),  $I_{\text{TVDI}}$  的值越小, 相对于旱程度越严重。

## 1.2 研究区域划分

利用归一化植被指数(NDVI)和遥感反演的地表温度(ST)进行区域旱情监测, 需要考虑植被类型、生长状况、覆盖度以及土壤可利用水量等条件。西藏幅员辽阔, 地形和气候十分复杂, 为了减少上述差异, 应对监测区域进行分类, 分别建立各区域的 ST-NDVI 特征空间, 根据各空间分别计算 TVDI。为了便于讨论, 将同一时间不同区域的 TVDI 合成为全区旱情分布图, 进行统一分析研究。根据西藏不同的土地利用和覆盖状况来看, 大致可分为沿江一线的农业区、藏西北牧业区和藏东南林业区。但严格说来, 这些区域并不是相互独立的, 大多呈交织状态。西藏的纯牧业集中分布于藏西北地区的 14 个县, 为了减少不同植被类型区域对陆面温度的影响, 本文将研究区域按行政区划分为纯牧区和非牧业区两大区域(图 1), 其中纯牧区分属不同地区的 14 个县, 即日喀则地区的萨嘎、仲巴县, 拉萨市的当雄县, 阿里地区的革吉、改则、措勤县, 以及那曲地区的那曲、安多、申扎、班戈、尼玛、聂荣、嘉黎和巴青县。其他各县属于非牧业区。

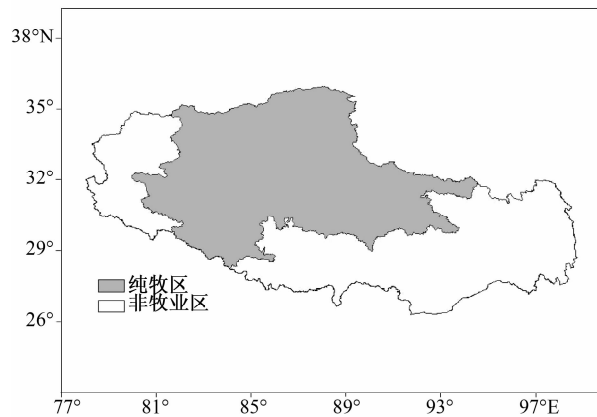


图 1 西藏地区纯牧区和非牧业区区划

## 1.3 资料处理

本文选取西藏拉萨 MODIS 接收站接收的 2005 年 6 月 26 日、7 月 3 日, 2006 年 6 月 20 日, 2007 年 6 月 28 日、7 月 23 日, 2008 年 6 月 16 日、

7 月 9 日 7 个时次卫星轨道覆盖西藏地区正上方基本为晴空区的 EOS/MODIS 卫星资料, 并对资料进行预处理(包括数据回放、等面积投影、数据定标、几何校正等)、云检测、等面积投影生成 1 km 分辨率的 ld2 格式数据。利用编程读取 ld2 格式中的 1、2、31、32 通道数据计算 NDVI、TS 以及同一时间不同区域(纯牧区和非牧业区)各点的 TVDI。结合《西藏自治区气象局干旱监测和影响评价业务实施细则》, 通过选定时次的西藏地区实际旱涝情况相比较, 将干旱程度分为 5 个等级, 用 TVDI 作为分级指标(表 1), 最后生成西藏自治区旱情等级分布图。

$$I_{\text{NDVI}} = (A_2 - A_1) / (A_2 + A_1) \quad (5)$$

$$T_s = 1.0346A_{31} + 2.5779 \times (A_{31} - A_{32}) - 10.05 \quad (6)$$

式中:  $A_1$ 、 $A_2$  分别是 ld2 资料中通道 1、2 的反射率,  $A_{31}$  和  $A_{32}$  分别为通道 31、32 的辐射亮温。

表 1 西藏自治区不同等级干旱遥感监测指标

等级	类型	指标
1	特旱	$0 \leq I_{\text{TVDI}} < 0.2$
2	重旱	$0.2 < I_{\text{TVDI}} \leq 0.4$
3	中旱	$0.4 < I_{\text{TVDI}} \leq 0.6$
4	轻旱	$0.6 < I_{\text{TVDI}} \leq 0.8$
5	无旱	$0.8 < I_{\text{TVDI}} \leq 1$

## 1.4 特征空间干湿边的确定

西藏地域广资料缺乏, 全区地表温度资料较少, 建立自己的地表反演方程存在很大的困难, 因此, 地表温度的计算方法上借用了同属青藏高原的青海省的研究结果。利用 ST-INDVI 特征空间中的相应最大和最小陆地表面温度, 回归拟合可获得干边和湿边方程。共选取了 2005~2008 年 6~7 月 7 个同时次的 EOS/MODIS 资料, 分别对西藏的非牧区和纯牧区建立了干、湿边拟合方程(表 2、表 3)。

从表 2、表 3 中可以看出, 通过 ST-INDVI 特征空间构建的西藏纯牧区和非牧区干、湿边拟合方程的拟合系数都较高, 平均达 0.85 以上。利用植被指数)和遥感反演地表温度进行西藏地区夏季旱情监测是可行的。

表 2 西藏纯牧区 ST-INDVI 特征空间的干边、湿边方程

时间	干边拟合方程	$R^2$	湿边拟合方程	$R^2$
2005-06-26	$T_{smax} = -35.11058I_{NDVI} + 320.0467$	0.94041	$T_{smin} = 41.49876I_{NDVI} + 269.7485$	0.69003
2005-07-03	$T_{smax} = -27.77392I_{NDVI} + 316.1390$	0.86454	$T_{smin} = 66.43122I_{NDVI} + 253.6796$	0.89076
2006-06-20	$T_{smax} = -35.31487I_{NDVI} + 319.8082$	0.74461	$T_{smin} = 75.15045I_{NDVI} + 254.2424$	0.90609
2007-06-28	$T_{smax} = -53.52652I_{NDVI} + 326.5639$	0.90225	$T_{smin} = 67.12460I_{NDVI} + 256.0402$	0.91218
2007-07-23	$T_{smax} = -33.39560I_{NDVI} + 323.1498$	0.91610	$T_{smin} = 62.98565I_{NDVI} + 255.2687$	0.80144
2008-06-16	$T_{smax} = -38.96952I_{NDVI} + 321.7316$	0.69086	$T_{smin} = 63.77091I_{NDVI} + 260.2130$	0.78797
2008-07-09	$T_{smax} = -17.22454I_{NDVI} + 314.8510$	0.73953	$T_{smin} = 70.99586I_{NDVI} + 255.2312$	0.82901

表 3 西藏非牧区 ST-INDVI 特征空间的干边、湿边方程

时间	干边拟合方程	$R^2$	湿边拟合方程	$R^2$
2005-06-26	$T_{smax} = -29.44709I_{NDVI} + 324.7749$	0.92685	$T_{smin} = 36.90962I_{NDVI} + 264.3957$	0.84734
2005-07-03	$T_{smax} = -40.94741I_{NDVI} + 328.6348$	0.94082	$T_{smin} = 87.18719I_{NDVI} + 234.6359$	0.88708
2006-06-20	$T_{smax} = -38.65423I_{NDVI} + 325.4557$	0.92346	$T_{smin} = 70.69417I_{NDVI} + 246.7478$	0.89914
2007-06-28	$T_{smax} = -35.63311I_{NDVI} + 320.3957$	0.92601	$T_{smin} = 74.93470I_{NDVI} + 241.8758$	0.75758
2007-07-23	$T_{smax} = -22.75841I_{NDVI} + 315.0826$	0.78806	$T_{smin} = 58.61976I_{NDVI} + 250.4296$	0.88266
2008-06-16	$T_{smax} = -12.39595I_{NDVI} + 311.0261$	0.56106	$T_{smin} = 80.49205I_{NDVI} + 237.0245$	0.92792
2008-07-09	$T_{smax} = -26.87005I_{NDVI} + 320.4147$	0.92791	$T_{smin} = 59.70686I_{NDVI} + 250.7896$	0.88956

2 TVDI 监测结果

本文选取常规的气象干旱等级、实时气象灾情及土壤相对湿度(只有日喀则、拉萨、乃东和林芝 4 个观测站点)与 TVDI 监测的旱情结果仅针对各自有站点分布的区域进行对比分析。气象干旱等级是根据西藏普兰、日喀则、亚东、定日、乃东、隆子、拉萨、那曲、索县、班戈、申扎、林芝、察隅、波密、昌都、洛隆、左贡、丁青这 18 个气象站 30 天降水距平百分率( $\Delta R$ )制作,根据不同的降水距平百分比,分为无旱、轻旱、中旱、重旱、特旱 5 个旱情等级。

$$\Delta R = (R_i - R) / R \times 100\%$$

式中, $R$  为时段内多年降水平均值, $R_i$  为时段内降水实况。

距平百分率等级定为:

- $-20\% < \Delta R < 20\%$  无旱
- $-45\% \leq \Delta R < -20\%$  轻旱
- $-55\% \leq \Delta R < -45\%$  中旱
- $-75\% \leq \Delta R < -55\%$  重旱
- $\Delta R \leq -75\%$  特旱

2.1 与气象干旱监测及实时气象灾情对比

西藏自治区 TVDI 监测结果与同时段气象干旱监测对比分析显示:①2005 年 6 月 26 日,洛隆、察隅、波密、申扎、普兰二者监测的旱情相同,丁青 TVDI 旱情偏轻,其他 12 个站 TVDI 监测结果旱情偏重(图 2,见图版)。②2005 年 7 月 3 日,波密、察隅、丁青、那曲的旱情监测相同,申扎旱情偏轻,其他各站 TVDI 监测结果旱情偏重(图略)。从 2005 年的实时气象灾情来看,6 月,昌都地区、林芝地区和沿江一线出现高温少雨天气,日喀则、山南以及拉萨市部分县出现了干旱;7 月,拉萨市各县(区)持续出现高温少雨天气,致使各县(区)出现不同的旱情。昌都地区左贡县城、林芝地区东部、山南地区贡嘎县、浪卡子县都出现旱情,日喀则地区也受轻度旱灾。TVDI 干旱监测结果显示以上区域出现旱情,个别区域旱情较重,而气象干旱监测分析结果显示林芝、昌都、山南、日喀则和那曲地区部分县旱情较轻,其他绝大多数旱情一致。比较而言,TVDI 旱情遥感监测结果与旱情实况较吻合,气象干旱旱情监测结果比旱情实况轻。③2006 年 6 月 20 日,帕里旱情监测结果相同,均为中旱,其他 17 个县 TVDI 干旱监测结果较气象干旱监测结果旱情偏重(图 3,

见图版)。从实时气象灾情来看,6月中旬开始,林芝地区波密县出现了高温少雨时段,致使该县轻度旱情。TVDI旱情遥感监测结果与旱情实况一致,气象干旱旱情监测结果林芝地区波密县为无旱,比实况轻。④2007年6月28日TVDI干旱监测(图4a,见图版)与气象干旱监测对比,察隅、索县和申扎旱情相同,昌都、洛隆、林芝、波密、拉萨市、乃东、隆子、日喀则市、亚东、定日和班戈TVDI监测结果旱情偏重,左贡、丁青、那曲和普兰旱情偏轻(图4b,见图版)。⑤2007年7月23日,昌都、察隅均为无旱,洛隆、左贡、拉萨、乃东、隆子、日喀则、亚东、定日、那曲、索县、班戈和申扎TVDI监测结果旱情偏重,丁青、林芝、波密和普兰旱情偏轻。同期实时气象灾情来看,6月沿江一线的部分地区和那曲地区中西部出现旱情,其中那曲地区中西部旱情较为严重;7月那曲、阿里地区和拉萨市大多数县出现旱情,其他地区的部分县因强降雨和冰雹引发洪涝、泥石流、山体滑坡灾害。TVDI干旱监测结果显示,该时段沿江一线的部分地区、那曲地区中西部和阿里地区出现旱情,而气象干旱监测结果显示拉萨市、山南无旱,其他地区都有不同程度的旱情。比较而言,TVDI旱情遥感监测结果与旱情实况较吻合,气象干旱监测结果比实况轻。⑥2008年6月16日,林芝、察隅、波密旱情相同,其他站TVDI监测结果旱情偏重(图5,见图版)。⑦2008年7月9日,昌都、丁青旱情相同,波密旱情偏轻,其他各站TVDI监测结果旱

情偏重(图略)。同期实时气象灾情来看,进入6月以来,西藏各地阴雨天气偏多,局部地区多强降水,部分县镇先后出现洪涝灾害;到中下旬以后,除林芝地区的东南部降水偏少明显、空气干燥、气温偏高外,其他部分地区的县镇出现冰雹、洪涝、泥石流、山体滑坡、雷击灾害。TVDI旱情遥感监测结果显示全区7个地(市)都有不同程度的旱情,而气象干旱监测结果显示除林芝、昌都地区部分县有轻度旱情外,其他为无旱。比较而言,二者的旱情监测结果与实况较吻合。

## 2.2 与土壤相对湿度对比

同期农业气象土壤相对湿度观测数据显示(表4),2005年6月下旬除林芝土壤墒情很好外,其他较差,但TVDI监测结果显示林芝中旱;2005年7月上旬除林芝土壤墒情较好外,其他较差,与TVDI监测结果相近;2006年6月中旬除拉萨和林芝土壤墒情很好外,其他较差,与TVDI监测结果相近;2007年6月下旬除拉萨土壤墒情较差外,其他较好,但TVDI监测结果显示林芝中旱、日喀则和乃东特旱,二者相差较大;2007年7月下旬土壤墒情都很好,但TVDI监测结果显示日喀则和乃东中旱、拉萨重旱,二者相差较大;2008年6月中旬除拉萨土壤墒情较差外,其他较好,但TVDI监测结果显示日喀则、乃东中旱,二者差异较大;2008年7月上旬全区土壤墒情均较好,但TVDI监测结果显示乃东中旱,拉萨和日喀则特旱,二者相差较大。

表4 西藏自治区10 cm土壤相对湿度观测数据

%

	2005年6月下旬	2005年7月上旬	2006年6月中旬	2007年6月下旬	2007年7月下旬	2008年6月中旬	2008年7月上旬
日喀则	44	26	31	67	96	84	57
拉萨	42	10	80	40	85	42	58
乃东	33	36	32	66	99	66	79
林芝	93	56	80	79	95	59	74

## 3 结论与讨论

2005年6月26日和7月3日TVDI旱情遥感监测结果与实际旱情较吻合,气象干旱监测结果和土壤相对湿度观测结果比旱情实况轻。2006年6月20日TVDI旱情遥感监测结果与旱情实况一致,气象干旱监测结果和土壤相对湿度观测结果比实况轻。2007年6月28日和7月23日TVDI旱情遥

感监测结果和土壤相对湿度观测结果与旱情实况较吻合,气象干旱旱情监测结果比实况轻。2008年6月16日和7月9日TVDI、气象干旱监测结果和土壤相对湿度观测结果与实况较吻合。

TVDI方法的优点在于卫星遥感数据具有高时空分辨率和覆盖面广等特点,结合实际研究区域的外场实测数据进行旱情监测与分析,对大面积干旱监测、旱情变化评估和预警具有快速、及时、宏观等

优势,但是,由于实际研究条件与野外观测试验的限制,地表温度方程中采用的是青海省的方程系数,同时,本文只对夏季的旱情进行了监测分析,今后需要针对以上问题进行研究,探讨出更加适合西藏旱情的遥感监测方法。

## 参考文献

- [1] 假拉,杜军,边巴扎西,等. 西藏气象灾害区划研究[M]. 北京:气象出版社,2008:4-5.
- [2] 冯蜀青,殷青军. 基于温度植被旱情指数的青海高寒区干旱遥感动态监测研究[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(5):141-145.
- [3] 冯锐,张玉书,记瑞鹏,等. 基于 MODIS 数据的作物苗期干旱监测方法[J]. 气象科技,2008,36(5):606-608.
- [4] 边多,董妍,边巴次仁,等. 基于 MODIS 资料的西藏遥感积雪监测业务化方法[J]. 气象科技,2008,36(3):345-348
- [5] 赵文化,张鹏,单海兵. 基于 MODIS 地表温度(LC)的森林火灾识别方法[J]. 气象科技,2008,36(2):210-214.
- [6] 邓军,白洁,刘建文,等. 基于 MODIS 多通道资料的白天雾监测[J]. 气象科技,2006,34(2):188-193.
- [7] 张学艺,张晓煜,李剑萍,等. 我国干旱遥感监测技术方法研究进展[J]. 气象科技,2007,35(4):574-578.
- [8] 田国良. 黄河流域典型地区遥感动态研究[M]. 北京:科学出版

- 社,1990:122-131.
- [9] 刘志明. 利用气象卫星信息遥感土壤土壤水分的探讨[J]. 遥感信息,1992,(1):21-23.
- [10] 陈维英,肖乾广. 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):106-112.
- [11] 王鹏新,龚键雅. 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):412-418.
- [12] Price J C. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1990, 28:940-948.
- [13] Carlson T N, Gillies R R, Schmugge T J. An interpretation of methodologies for indirect measurement of soil water content [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1995, 77(3~4):191-205.
- [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 of Environment, 2002, 79:213-224.
- [15] Geotz S J. Multi-sensor analysis of INDVI, surface temperature and biophysical variable at a mixed grassland site [J]. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18(1):71-94.
- [16] 齐述华,王长耀. 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):420-426.

# TVDI-Based Remote Sensing Monitoring of Droughts over Tibet Plateau

Zhaxiyangzong<sup>1,2</sup> Yang Xiuhai<sup>1</sup> Bianbaciren<sup>1</sup> Hu Haoran<sup>3</sup> Zhuoma<sup>4</sup>

(1 Tibetan Institute of Atmospheric Environment and Science, Lhasa 850000; 2 Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020; 3 Institute of Plateau Meteorology, CMA, Chengdu 610072; 4 Tibet Autonomous Region Climate Centre, Lhasa 850000)

**Abstract:** Most parts of the Tibetan Plateau belong to the region frequently attacked by droughts or heavy droughts, which is one of most serious disasters influencing agriculture and pasturing production in Tibet. Using NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and ST (Surface Temperature) gained from MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) at the Lhasa receiving station, the ST-INDVI characteristic space is constructed and a drought discriminating method is devised according to TVDI (Temperature-Vegetation Dryness Index) as the drought guideline, along with the satellite datasets for the same periods (June and July) from 2005 to 2008, and the monitoring results of meteorological droughts and soil moisture observation indicate that the TVDI method is applicable in the Tibetan Plateau for monitoring droughts with satellite datasets.

**Key words:** drought, remote sensing, NDVI, land surface temperature, TVDI

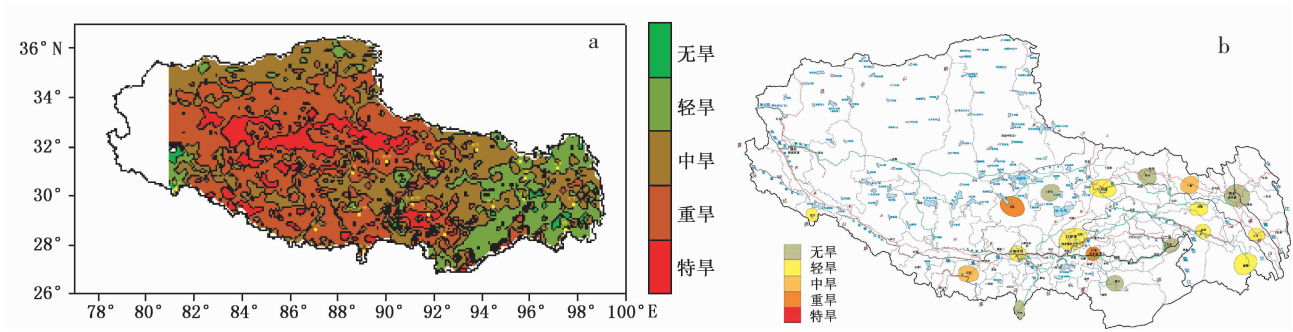


图 2 2005 年 6 月 26 日西藏自治区 TVDI 干旱监测(a)和 2005 年 6 月 11 日至 7 月 10 日气象干旱监测(b)

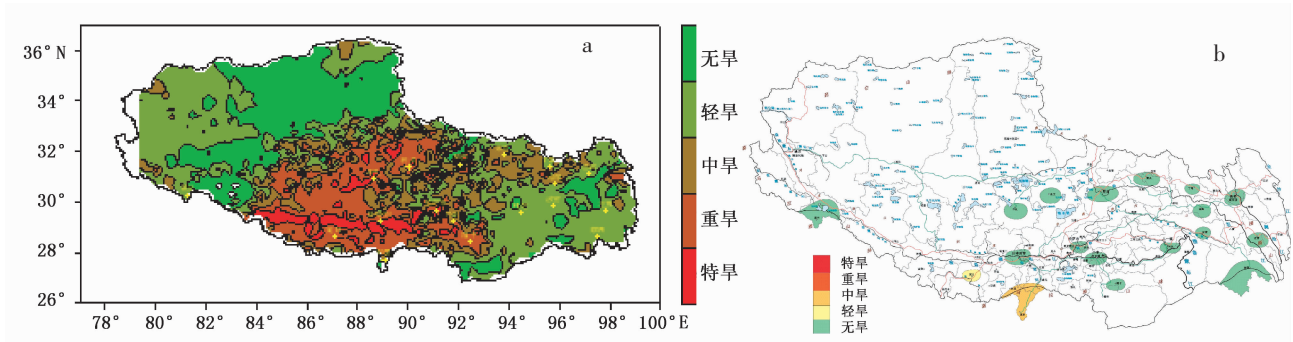


图 3 2006 年 6 月 20 日西藏自治区 TVDI 干旱监测(a)和 2006 年 5 月 21 日至 6 月 20 日气象干旱监测(b)

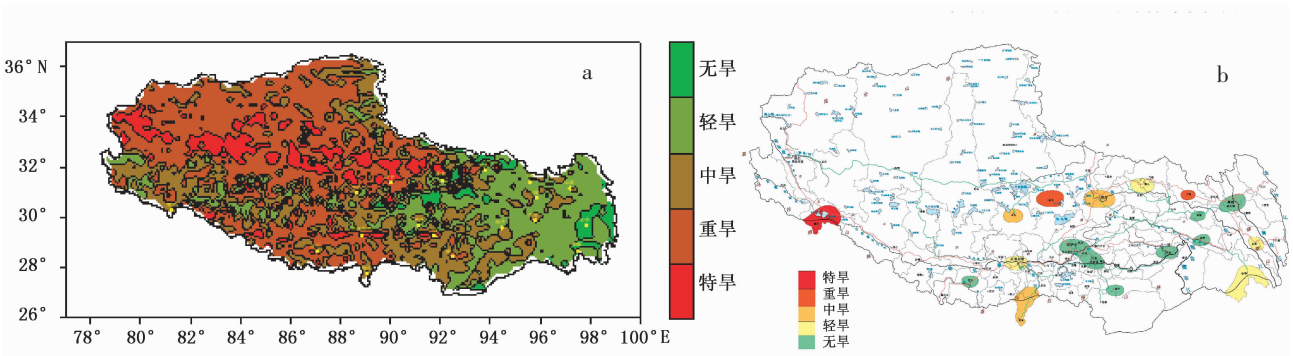


图 4 2007 年 6 月 28 日西藏自治区 TVDI 干旱监测(a)和 2007 年 5 月 29 日至 6 月 28 日气象干旱监测(b)

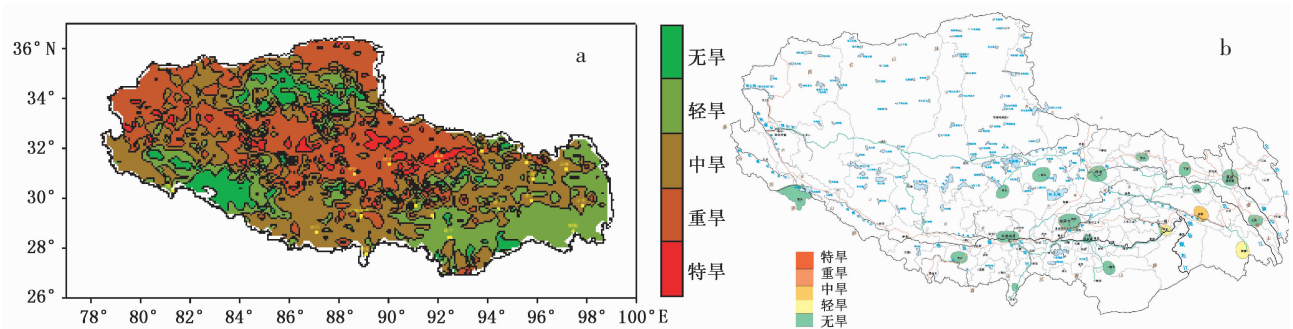


图 5 2008 年 6 月 16 日西藏自治区 TVDI 干旱监测(a)和 2008 年 5 月 17 日至 6 月 16 日气象干旱监测(b)