

用 NOAA 卫星可见光和红外资料估算 甘肃省东部农田区土壤湿度*

郭 锐¹⁾ 陈添宇¹⁾ 雷建勤²⁾ 杨兰芳¹⁾

(兰州干旱气象研究所, 兰州 730020)¹⁾

(甘肃省气象局资料室, 兰州 730020)²⁾

提 要

应用 NOAA 卫星 AVHRR 通道 1、2 计算的植被指数和通道 4 的亮温、农业气象试验站观测的土壤湿度, 并结合气象卫星完成的土地覆盖分类等资料, 建立了由植被指数和亮温估算甘肃省东部农田区土壤湿度的方程。结果表明, 农田土壤湿度与植被指数和亮温间均存在一定相关关系; 用植被指数和亮温可以估计土壤湿度情况, 并对干旱进行监测。

关键词: NOAA 卫星 植被指数 亮温 土壤相对湿度 干旱

引 言

甘肃省东部地处半干旱地区, 年降水量在 200~600 mm, 主要是旱作农业, 旱地面积约占总耕地面积的 88.6%, 农作物生长主要依靠自然降水。由于降水量不足和时空分布不均, 干旱发生频繁。因此及时了解农作物土壤墒情, 为政府部门提供有关信息, 对组织抗旱, 夺取农业丰收具有重大意义。

常规土壤墒情的测量是采取重力土壤取样, 土壤蒸渗等方法, 但由于受到人力、财力限制, 这些方法难以迅速获得大面积、多时相的地面水分信息。近年来, 遥感技术迅速发展, 为迅速获得大范围的土壤水分信息提供了条件。目前用遥感技术估算土壤水分含量的方法有三种: 主动微波法; 被动微波法和热红外即热惯量法。

NOAA 系列气象卫星 AVHRR 的探测波段集中在可见光和红外区, 每颗星一天两次通过同一地区上空, 利用 AVHRR 通道 4 昼夜探测资料可以获得地面准温度日较差, 用热惯量方法建立土壤湿度与热惯量间的统计模型, 可获得土壤湿度。这方面的研究国内外均已开展了不少工作^[1~3]。但是由于受到云或其他因素的影响, 难以获得准温度日较差, 用热惯量法监测土壤湿度在实际应用时有很多困难; 同时热惯量法适用于监测裸

* 本文由兰州区域气象中心二期工程项目《卫星资料的综合应用开发》资助。
1996-02-12 收到, 1996-06-12 收到修改稿。

露的土壤,有植被覆盖时由于受到植被影响,监测精度会下降。

本文在一天仅有一次 NOAA/AVHRR 资料,无法得到准温度日较差的情况下,对推算土壤湿度做了初步研究,发现利用单次 AVHRR 通道 1、2 计算的植被指数和通道 4 亮温资料也能间接获得一些土壤水分信息,对土壤干旱情况进行监测。

1 设计思想

NOAA/AVHRR 通道 1、2 波长范围分别为 $0.58\sim 0.68\ \mu\text{m}$, $0.72\sim 1.10\ \mu\text{m}$, 根据这两个波段资料计算的植被指数可以反映被探测表面植被生长情况,在干旱条件下,土壤水分是影响植被生长的主要因素,因此可以把植被指数作为判断土壤水分情况的因子。本文选归一化植被指数,

$$NDVI = (ch2 - ch1)/(ch2 + ch1) \quad (1)$$

式中 $ch1$ 、 $ch2$ 分别为通道 1、2 的反射率值, $NDVI$ 的特点是可以部分消除由于照明、观测条件等变化所造成的各通道反射率的改变。

蒸发会使表面温度降低,因此干旱期日间的土壤温度较湿润期高,对于有植被的土地,干旱时期日间植被冠层温度也会升高, NOAA/AVHRR 通道 4 的探测波段为 $10.3\sim 11.3\ \mu\text{m}$, 测量的是物体表面放射辐射,其值大小可以反映被测物体温度的高低。Gutman(1990)^[4]研究发现 NOAA 卫星的晴空白昼热力资料可以用来监测干旱。张仁华等^[5]观测结果表明,在蓝、黄、红和近红外($6.8\sim 11\ \mu\text{m}$)的 4 个波段反射波谱中,以近红外波段对土壤水分的反应最敏感。

本文以归一化植被指数和通道 4 亮温为因子,分别寻求 10、20、50 cm 深度土壤相对湿度间的关系,建立由卫星资料估算土壤湿度的统计模型。

2 资料及处理方法

本文卫星资料选取 1991~1995 年 NOAA-11 和 NOAA-12 共 15 个时次的 AVHRR 通道 1、2 和 4 的资料,资料分辨率为 1.2 分经纬度网格(约 2 km),范围 $32.7^\circ\sim 38^\circ\text{N}$ $102.5^\circ\sim 108.5^\circ\text{E}$ 。以青海湖为地面目标物对各时次资料做定位校正;为排除云的干扰,将各时次通道 1 反射率大于 25 的象素点视为云并剔除。按照公式(1)计算出各时次归一化植被指数。土壤湿度资料选与卫星资料对应的时次,甘肃省东部农业气象试验站观测的 10、20 和 50 cm 土壤相对湿度资料,将各站土壤湿度内插到与卫星资料相对应的网格点上。根据郭锐等^[6]用气象卫星资料做出的甘肃省河东地区土地覆盖分类结果,分别从卫星资料和土壤湿度资料中将农作物区(包括冬麦区和农田区)的象素点提取出来,得到各时次农作物区的植被指数、亮温和土壤湿度资料序列。

由于 NOAA-11 和 NOAA-12 两颗卫星探测资料有差异,过境时间也不同(NOAA-11 约在 15:00(北京时)过境, NOAA-12 在 09:00(北京时)过境),二者资料没有做归一化处理,所以将两颗卫星资料分开计算。同时由于农作物植被指数在其生长发育的不同阶段变化较大,作物成熟时植被指数的下降并不意味着土壤湿度的降低,所以本文采

用分段处理的方法建立各月 10、20 和 50 cm 土壤相对湿度与植被指数和亮温的回归统计模型。

3 结果分析

计算结果表明,三层土壤湿度中以 20 cm 土壤湿度与卫星资料的相关关系最好且稳定。三层土壤的回归模型形式基本一致,故选 20 cm 土壤湿度模型为代表进行讨论。表 1 是由 NOAA-11 和 NOAA-12 资料估算 4~9 月份 20 cm 土壤相对湿度的统计模型。 R 为复相关系数, r 为单相关系数。

NOAA-12 无 4 月、8 月资料,故无法建立模型。表中 x_1 为由式(1)计算的归一化植被指数 $NDVI \times 200$, x_2 为通道 4 亮温(单位: NOAA-11 为 C, NOAA-12 为 K), y 为土壤相对湿度。

本文选取整个农作物区的象素点的样本,故样本数目大大提高,各回归模型复相关系数均通过信度为 0.01 的 F 检验。由分析因子间单相关系数可以发现:植被指数与亮温间存在负相关关系,其物理意义是明显的,即植被茂盛的地区较植被稀少地区温度低。植被指数与土壤湿度间存在正相关关系,说明植被指数高的地区土壤墒情较好,农作物生长也好。亮温与土壤湿度间有负相关关系,本文研究区域为农田,卫星观测到的亮温是作物叶面温度和土壤温度的综合反映,植物供水充足时植物的蒸腾作用会使叶面温度降低;当土壤干旱时植物的水分需求不能完全满足,植物的叶面温度会上升;同时,干燥的土壤较地理、气候条件相同情况下日间湿润的土壤温度高。因此亮温与土壤湿度呈负相关。

需要指出的是 NOAA-11 在 15:00 左右过境,与土壤最高温度出现的时间接近,太阳高度较高,卫星资料反映土壤湿度信息较多。NOAA-12 在早晨 09:00 左右过境,太阳高度较低,太阳辐射还不强,植被、土壤接收的太阳辐射不多,卫星资料可靠性差些。表 1 中对 NOAA-12 的 7 月模型,亮温与土壤湿度呈弱的负相关,9 月呈正相关,与其它时次差距较大,其原因可以从土壤、植被日变化特点和卫星观测时太阳高度的影响加以解释,但实际应用时最好选下午过境卫星的资料。如果必须用上午资料,也应选夏至前后太阳高度较高的时段。用 NOAA-11 5 月的统计模式和 NOAA-12 6 月的模式,分别根据 1991 年 5 月 18 日和 1995 年 6 月 11 日的卫星资料(这两次资料没有参加模式统计),计算出上述两日 20 cm 土壤相对湿度,并与其实测土壤湿度资料进行比较。可以看出:由 1991 年 5 月 18 日模式计算的土壤湿度(图 1)分布趋势与实际(图 2)基本一致,但模式计算值在低值区偏大,高值区偏小。将实测值内插到与卫星资料对应的网格上与模式估算值求相关,其相关系数为 0.4145(样本数=7049),通过 $\alpha > 0.01$ 的检验。实测值、模式估计值和实测与估计差值的均方差分别为 12.177、5.68 和 11.1,表明估计值比实测值离散程度小。正如前面分析的那样模式估计值在低值区偏大,高值区偏小。实测值与估计值差值的均方差较大,表明本文模式计算出的土壤湿度数值上还存在一定的误差。将卫星资料计算的 1995 年 6 月 11 日土壤湿度(图 3)与 6 月 8 日土壤湿度(图 4)比较,图 4 中甘肃省庆阳地区和中部地区会宁、定西等低值区在图 3 中也可以反映出来;

表 1 由卫星资料计算土壤相对湿度(20 cm)回归模式

Table 1 Regression models for calculating relative soil moisture(20 cm)from satellites data

星号	时间	方 程	相关系数(复、单)	样本数
NOAA-11	4 月	$y=0.29327x_1-0.55566x_2+112.86185$	$R=0.4895$ $r(x_1, x_2)=-0.3346$ $r(x_1, y)=0.4430$ $r(x_2, y)=-0.3444$	18070
	5 月	$y=0.16324x_1-0.61601x_2+124.15693$	$R=0.3155$ $r(x_1, x_2)=-0.1318$ $r(x_1, y)=0.2492$ $r(x_2, y)=-0.2247$	20223
	6 月	$y=0.19207x_1-1.09328x_2+176.30219$	$R=0.5360$ $r(x_1, x_2)=-0.5016$ $r(x_1, y)=0.4604$ $r(x_2, y)=-0.4683$	9567
	7 月	$y=0.16001x_1-1.47688x_2+255.67687$	$R=0.5685$ $r(x_1, x_2)=-0.4304$ $r(x_1, y)=0.3986$ $r(x_2, y)=-0.5373$	8493
	8 月	$y=0.14930x_1-0.60636x_2+182.24959$	$R=0.3049$ $r(x_1, x_2)=-0.2637$ $r(x_1, y)=0.2755$ $r(x_2, y)=-0.1988$	9573
	9 月	$y=0.40768x_1-1.21143x_2+208.88584$	$R=0.4422$ $r(x_1, x_2)=-0.3618$ $r(x_1, y)=0.3645$ $r(x_2, y)=-0.3652$	8585
NOAA-12	5 月	$y=0.17294x_1-1.67919x_2+357.62620$	$R=0.4048$ $r(x_1, x_2)=-0.1387$ $r(x_1, y)=0.3000$ $r(x_2, y)=-0.3151$	9550
	6 月	$y=0.17637x_1-1.11899x_2+257.06745$	$R=0.4623$ $r(x_1, x_2)=-0.3384$ $r(x_1, y)=0.3849$ $r(x_2, y)=-0.3713$	9195
	7 月	$y=0.36598x_1+0.66995x_2-18.37492$	$R=0.4427$ $r(x_1, x_2)=-0.3724$ $r(x_1, y)=0.4257$ $r(x_2, y)=-0.0460$	9490
	9 月	$y=0.29612x_1+2.61109x_2-412.81246$	$R=0.4534$ $r(x_1, x_2)=-0.0676$ $r(x_1, y)=0.2278$ $r(x_2, y)=0.3757$	9282

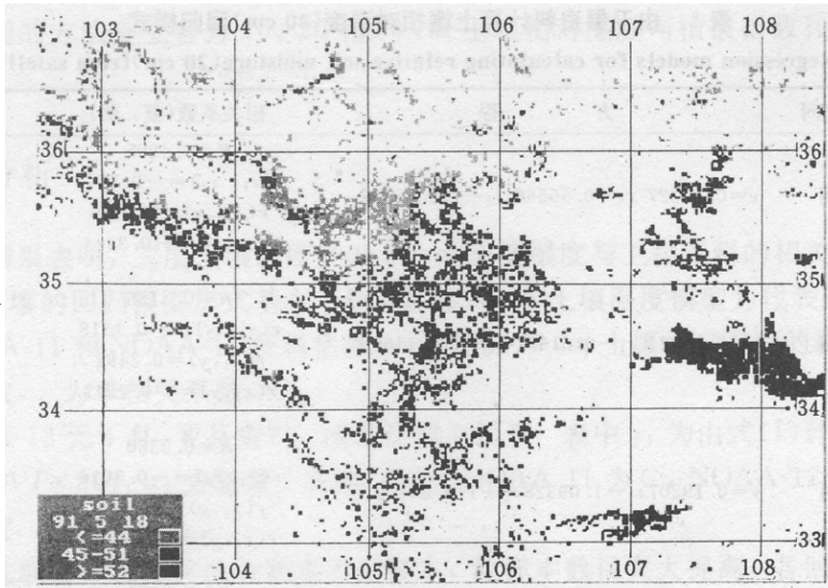


图1 1991年5月18日卫星计算的20 cm土壤相对湿度(%)分布图

Fig. 1 The distribution of relative soil moisture (%) (20 cm)calculated from satellite data on 18 May, 1991

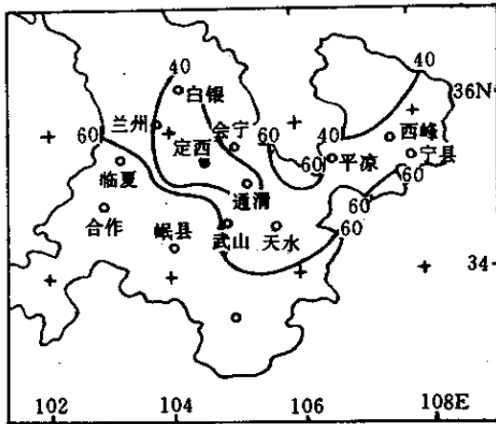


图2 1991年5月中旬农试站观测的20 cm土壤相对湿度(%)分布图(<40重旱, 40~60轻旱, >60不旱)

Fig. 2 The distribution of relative soil moisture (%) (20 cm) measured at agricultural meteorological stations on middle dekad May, 1991 (< 40 heavy drought, 40 ~ 60 light drought, >60 no drought)

天水、武山等旱区则不明显, 平凉—通渭相对高值区的范围有些扩大. 图4中土壤湿度南高北低的趋势在图3中也很明显, 数值上也存在低值偏大高值偏小的情况. 实际值与模式估算值的相关系数为0.4200(样本数为9628), 通过 $\alpha > 0.01$ 的检验. 实测值、模式估计值和实测与估计差值的均方差分别为13.7、6.05和12.44.

3 结论与讨论

本文讨论了利用NOAA卫星植被指数和亮温资料推算土壤湿度的可能性, 结果表明土壤湿度和植被指数及亮温间存在着一定的关系, 植被指数和亮温均能反映出土壤湿度的一些信息, 可以用它们来监测干旱.

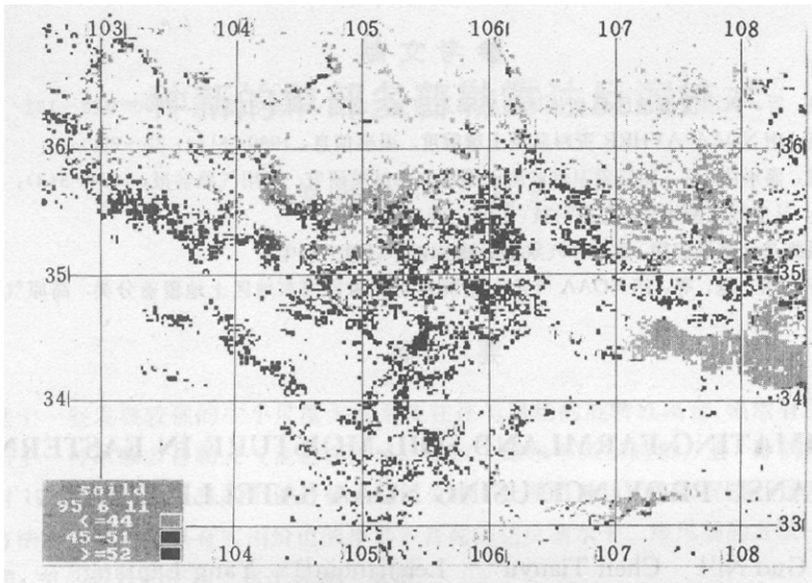


图 3 1995 年 6 月 11 日卫星资料计算的 20 cm 土壤相对湿度(%)分布图

Fig. 3 The distribution of relative soil moisture (%) (20 cm) calculated from satellite data on 11 June, 1995

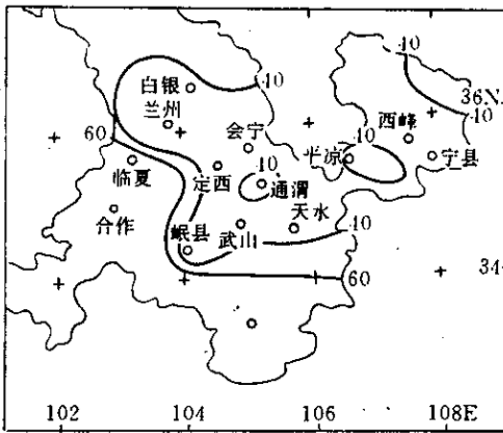


图 4 1995 年 6 月上旬农试站观测的 20 cm 土壤相对湿度(%)分布图 (<40 重旱, 40~60 轻旱, >60 不旱)

Fig. 4 The distribution of relative soil moisture (%) (20 cm) measured at agricultural meteorological stations on first dekad May, 1995 (<40 heavy drought, 40~60 light drought, >60 no drought)

目前, 利用 NOAA 卫星资料监测干旱的技术还不成熟, 所建模式还存在稳定性问题, 需根据新的资料不断修正. 甘肃省位于青藏高原与黄土高原的交汇处, 本研究区域内许多地方山峦起伏, 沟壑纵横, 农田分布零散. 而且各地区的地理、气候条件差别较大, 用气象卫星同时进行大范围的干旱监测有一定困难.

甘肃省粮食主要产区在河西走廊的陇东黄土高原, 河西农业以灌溉为主. 受干旱威胁较大的是河东雨养农业区. 我们将在陇东较平坦的塬区选一些试验区, 重点研究这些区域卫星资料与土壤湿度的关系, 并对预报模式进行不断地修正和改进, 以提高其准确率和可靠性.

参 考 文 献

- 1 隋洪智, 田国良, 等. 黄河流域地区典型地区遥感动态研究. 北京: 科学出版社, 1990. 122~132.
- 2 肖乾广, 陈维英. 用 NOAA/AVHRR 资料监测土壤湿度. 遥感信息, 1990, 5(1): 22~25.
- 3 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. 应用气象学报, 1994, 5(3): 312~318.
- 4 Gutman G Gaik. 从空间监测干旱. 气象科技, 1990. (6): 11~18.
- 5 张仁华. 遥感遥测及计算机应用. 北京: 气象出版社, 1990. 131~140.
- 6 郭 妮, 陈添宇, 陈 乾, 等. 用 NOAA 气象卫星资料对甘肃省河东地区土地覆盖分类. 高原气象, 1995, 14(4): 467~475.

ESTIMATING FARMLAND SOIL MOISTURE IN EASTERN
GANSU PROVINCE USING NOAA SATELLITE DATAGuo Ni¹⁾ Chen Tianyu¹⁾ Lei Jianqin²⁾ Yang Lanfang¹⁾*(Lanzhou Institute of Arid Meteorology, Lanzhou 730020)¹⁾**(Gansu Meteorological Bureau, Lanzhou 730020)²⁾*

Abstract

Some statistical models are established by using vegetation index data calculated from NOAA satellite visible and infrared data, brightness temperature data from satellite channel No. 4 and soil moisture data observed at agricultural meteorological stations in the farmland of the eastern Gansu Province. The results show that vegetation index could reflect a part of moisture information, and there is some relationship between brightness temperature and soil moisture. Therefore, vegetation index and brightness temperature can be used to monitor drought regime.

Key words: NOAA satellite Vegetation index Brightness temperature Soil relative moisture Drought