

# 气象卫星遥感技术在农业气象情报服务中的应用及前景

李郁竹 谭凯琰 杨成钢

(气象科学研究院农气中心)

随着生产水平的提高,科学技术在发展生产力过程中的作用日益显著。为了科学地指导和管理农业生产,有关农业生产过程中的情报信息服务越来越受到领导部门的重视。我国气象系统的农业气象情报即是一种分析过去和当前天气条件并鉴定其对农业生产影响的专业情报,长期来它为各级政府和农业主管部门的农业宏观管理及制定有关政策提供了大量的客观依据。

目前我国农业气象情报资料的采集是从少数代表县站的定点观测调查获得,虽基本上能反映各地农情、灾情的概况,但难以进行及时监测和客观、详细地反映其全面、具体的空间分布状况。自80年代初期开始,美国NOAA第三代业务极轨气象卫星(Tiros-N系列)先后在国外国内的农业资源监测和估

产领域逐步得到重视和应用,目前已成为监测环境资源的又一有力工具。

NOAA气象卫星地面扫描宽度为2700公里,星下点空间分辨率为1.1公里,双星运行(目前正在运行的为NOAA-10和NOAA-11),每日可获取4次资料,时间分辨率远高于陆地卫星。其上装载的改进甚高分辨率辐射计(AVHRR)设置有可见光、近红外以及中热红外光谱探测通道,可用于植被、灾害等环境监测。由于气象卫星遥感具有宏观、快速、客观等特点,不难预料,其在农业气象情报领域的广泛应用,必将弥补目前农业气象情报资料的局限,优化农业气象情报服务<sup>[1]</sup>。

本文根据气象卫星遥感特点及农业气象情报服务内容,评价和探讨气象卫星遥感在农业气象情报领域中的应用及其前景。

## 一、农作物苗情长势的气象卫星遥感动态监测

农作物生长状况及其空间分布是重要的农情信息。该信息既是制定生产管理措施必不可少的依据,又是预测作物产量的重要依据,因为农作物前期的生长状况是决定其最终产量的根本条件。

大量地面光谱观测研究表明,农作物群体绿叶面积指数、生物量及叶绿素含量与其在可见光和近红外波段上的反射率密切相关。植物光合作用的生理机制可以通过植物反射光谱中不同波段间的关系,如采用红光与近红外波段反射信息的代数组合构成各种植被指数,间接地从遥感数据的分析中得到证实。这些植被指数与表征作物长势的某些农学参数呈线性或非线形关系。NOAA-AVHRR的通道一(CH1 0.58—0.68微米)主要设置在可见光的红光波段,通道二(CH2 0.735—1.1微米)主要设置在近红外波段,由该两通道反照率合成的多种植被指数又称为绿度模式,它能较好地反映地面作物的长势信息(见图1)。目前在气象卫星遥感中常用的绿度模式有比值模式( $G_1$ )和归一化差模式( $G_3$ )等<sup>[2,3,13,19,20]</sup>。

在晴空条件下,NOAA-AVHRR可获得大范围的地面扫描资料,其中包括大量的作物生长状况信息,通过对单时相和多时相卫星资料的解译,可以对作物长势的地理分布和随时间的变化作出定性或定量评价。

I. P. Malingreau 利用 15 公里分辨率 AVHRR GVI 资料对亚洲的植被进行监测,这里的GVI全球植被指数系Global Vegetation Index 的缩写。后他与国人合作,利用该资料每7天及每三周经过归一化处理的最大植被指数(NDVI),作出其随时间变化的曲线,对我国江苏省的稻麦作物组成、作物的季节、生育期、长势及产量趋势进行宏观监测<sup>[4,17]</sup>。

国家气象局气象科学研究所和卫星气象

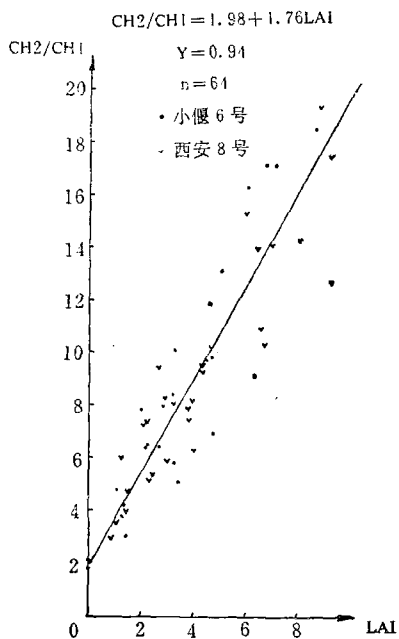


图 1 比值植被指数与叶面积指数间的关系

中心及11个省(自治区、直辖市)气象局、北京农科院等单位共同研究建立的我国北方冬小麦气象卫星遥感动态监测及估产系统,自1986年以来曾对我国北方冬麦区开展了气象卫星遥感冬小麦长势的动态监测,包括以分析、解译生长期绿度值时空变化为主的宏观、大面积动态监测和结合农业苗情分类的省、市一级的苗情长势监测<sup>[15,16]</sup>。

在大面积的作物长势气象卫星遥感动态监测中,由于监测区域范围大,生态环境条件必然不同,导致不同地区作物生长状况和发育进程上的差异。为了在卫星资料的分析、解译中,以尽可能少的地面样点资料,代表尽可能大的地区范围,在冬小麦的长势监测中采用了分层的方法,首先根据某些主要环境因子(地形、地貌、土壤、气候)以及产量水平划分冬小麦种植的生态类型区(层)。再根据生育进程——发育期的不同划分亚区(层),然后用亚层抽样点资料解译该层的卫星资料。

由于地表地物种类繁多,相间分布,卫星获取的光谱信息是各种地物反射光谱的综

合信息,因此首先需有效地提取目标地物的信息。对作物信息而言,主要通过选择合适的绿度模式和监测时段,以达到削弱和排除其它绿色信息及某些背景地物的影响。如监测冬小麦长势选用了 $G_1$ 和 $G_3$ 模式,最佳监测时段为11月下旬至翌年4月上、中旬<sup>[15]</sup>等。

卫星资料分析表明,正常生长的冬小麦,卫星绿度值随时间的变化( $G(t)$ )有着共同的规律。通过对每年最佳监测时段内的 $G(t)$ 分析解译,可以及时了解不同监测区冬小麦长势的变化。由于作物前期生长状况是决定其最终产量的根本条件,还可用当年的 $G(t)$ 曲线与历史高产年曲线对照分析,评价产量趋势。此外,根据冬小麦关键发育期的卫星资料与历史高产年同发育期资料进行比较,求取两年绿度值差( $\Delta G$ ),绘制 $\Delta G$ 的地理分布图,从而分析当年冬小麦长势与历史高产年差异的地理分布情况<sup>[16]</sup>。

省和更小区域范围的长势动态监测密切结合当地的苗情分类,通过绿度值与农学参数的统计分析,建立相关关系。根据不同监测区地面农学参数确定不同苗情分类的绿度分类的指标值(阈值),按该值从卫星绿度图上测算各类麦田所占的比例及其面积。

卫星遥感监测作物长势是农业气象情报服务中具有广阔发展前景的工作,自1986年开展的北方冬小麦长势遥感动态监测的研究与试验为我国大面积作物长势遥感动态监测开创了成功的先例,取得显著的服务效果,目前正在开始探索将气象卫星遥感应用于水稻、玉米等作物的长势监测中。

## 二、农田土壤湿度监测

对于我国北方旱地来说,土壤墒情是影响作物生长和产量高低的决定因子之一。作物生长期中,干旱时有发生,每年冬小麦受干旱危害的面积在几千万亩以上,抗旱保墒是常年采取的措施之一,可见土壤墒情信息的重要性。

众所周知,在卫星影像图上潮湿土壤呈

暗色调,干燥土壤呈亮色调,地面光谱观测表明,土壤湿度越小,它在可见光和近红外波段的反射率越大,反之亦然。在不同湿度下,裸露土壤在可见光和近红外波段的反射率呈直线关系变化,这条直线亦称为土壤亮度线,它与反映地表上绿色生物的光谱特征矢量——绿度线相垂直。土壤亮度值(B)的计算公式可以写成:

$$B = \rho_2 \sin \theta + \rho_1 \cos \theta \quad (1)$$

式中, $\rho_1$ 、 $\rho_2$ 分别表示可见光和近红外波段的反射率, $\theta$ 为土壤亮度线与 $\rho_1$ 轴的夹角。这个公式不仅适用于裸露土壤,也适用于有少量稀疏矮小植被的情况。

由地面光谱观测试验得到了土壤亮度值与土壤表层含水量关系点图(见图2)。该图虽然资料较少,但却证明了土壤湿度与光谱亮度值有着很好的相关关系。

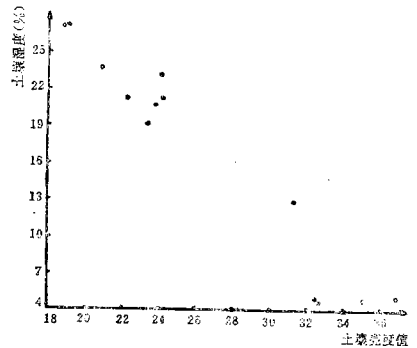


图2 土壤光谱亮度值与土壤表层含水量的关系 (1990年,河北定兴玉米地,土表平实)

历史资料表明,北方冬小麦产区,干旱主要发生在秋冬和初春季节,这时小麦处于播种至返青期,绿色生物量较少,土壤覆盖度很低,因此,适于应用上述方法来探测土壤湿度。在根据土质分区后,由同步观测确定卫星遥感亮度值——湿度对应指标和相关关系,从而由卫星资料定量地监测土壤墒情和干旱分布及程度。

NOAA卫星上装载的Tiros业务垂直探测仪TOVS(Tiros Operationa l Vertical So- under)资料用于土壤湿度监测亦逐渐引起重视。TOVS MSU(微波探测装置)的探测

资料可用于土壤湿度测算。MSU具有四个通道，可探测地面和大气发射的微波辐射，它具有微波遥感的一切特点。微波遥感具有可见光遥感和红外遥感所不具有的特点。微波的穿透力比较强，可以穿透非降水云层并能穿透一定高度的植被，且能穿透土壤达数厘米（穿透深度随波长而变，波长越长，穿透深度越深）。因此微波遥感具有全天候探测的特点，有利于土壤湿度探测<sup>[18]</sup>。

水面与干土的微波发射率相差很大，约为0.5与1.0。在其它条件不变的情况下，土壤中水分增多，其微波发射率会明显减少，卫星接收的微波辐射率也相应减少，亮度温度也随之明显降低。该亮度温度是土表下数厘米深度的平均亮度温度，它可以较好地反映该层内的土壤湿度变化。由于MSU资料地面分辨率较低（星下点分辨率为110公里），因此目前仅能局限在大范围的土壤湿度探测中应用<sup>[18]</sup>。

此外还可用热红外资料探测土壤湿度。卫星接收到的红外辐射随地面温度的变化而发生变化，因此可用热红外资料求取地表温度。在其它条件相同的情况下，地表温度随土壤湿度变化而变化，土壤湿度增大，地表温度降低，反之亦然；同时，土壤湿度增大、地表温度日较差减小，因此可用卫星的热红外资料分别求出中午及夜间的地表温度，进而求出土壤湿度，此法亦称热惯量法。

在可见光-近红外及热红外波段用遥感方法估算土壤水分，以及用微波遥感只能得到土壤表层的信息或几厘米深度土层的信息。当作物生长时，由于作物覆盖，用可见光-近红外波段遥感已无法直接探测土壤水分。而在通常情况下，往往需要了解根层的土壤水分信息。为此国外有人提出了作物缺水指数CWSI（Crop Water Stress Index）。CWSI可通过对作物冠层温度的测量转换得到。研究表明，CWSI与作物对水分的提取有很好的关系（但不是对水分提取的唯一函数）<sup>[14]</sup>。国人利用NOAA-AVHRR第一、

二通道内反射率与地面反照率的关系，得出地表温度日变化轨线。通过它可用卫星一次通过的辐射温度值，计算每小时的地表辐射温度及蒸散，构成作物缺水指数，再利用该指数与土壤水分的关系计算出土壤水分及其分布<sup>[5]</sup>。

### 三、大面积旱涝灾情监测

旱涝灾害的发生不仅导致农业减产，而且危及人民生命财产的安全。及时掌握旱涝灾的危害范围，客观、准确地估价受灾程度，是国家救灾指挥部门急需的信息，也是农业气象情报服务的重要方面之一。气象卫星遥感技术的发展为宏观监测旱涝灾害提供了一个新手段。

当农作物受到旱涝灾害时，其叶绿素含量和水分含量便会发生变化，光谱特征也随之而改变。这些由作物长势状况改变而引起的波谱变化必然会反映在气象卫星接收到的资料中。这也即是利用AVHRR资料监测旱涝灾情的基本依据。此外，水体在近红外波段的反射率远远低于陆地和绿色植被，此特点亦是监测洪涝灾情的重要依据。根据农作物和水体的光谱特性，把气象卫星通道一、二、三的数据分别赋以蓝、绿和红色，合成为彩色图像。根据该图像可判读云的覆盖、洪水信息及作物长势，定性地分析出旱涝灾情。用多时相的绿色值结合作物长势及综合地学分析确定定量判读标准。根据该标准可确定旱涝范围、划分旱涝灾情等级及量算旱涝面积，从而达到定量监测旱涝灾情动态的目的<sup>[7]</sup>。

1986年，吉林省东辽河流域大暴雨致使洪涝成灾。在这次过程中，气象部门利用气象卫星资料提出了准确的灾区分布和农作物坏死面积<sup>[7,8]</sup>，成为气象卫星遥感监测水灾的首例。此项服务受到了省政府的充分肯定。

1988年夏季河南省遭受了历史上罕见的大旱，一直持续到年底。根据自6月下旬以

后的多时相气象卫星资料,对此次大旱进行了动态监测,并及时了解了其地理分布<sup>[6]</sup>。

#### 四、宏观草场监测

我国草原面积约占国土面积的41%。草场资源监测是国家合理安排畜牧业生产,实现草原科学管理的重要依据。众所周知,草场的变化与气象条件,尤其是水分状况关系密切,往往一场雨就能引起牧草长势突变。常规方法或陆地卫星遥感常不能及时监测草场的这种突变,由于气象卫星具有的特点,使其成为草原监测和草场生物量非破坏性测量的重要工具。

气象卫星监测草原植被的原理与监测作物的原理相同。草原植物的叶片是光合作用的基本器官,在植物的生长旺季,叶对茎、枝的比例占绝对优势,因此叶子的反射光谱具有充分的代表性,叶面积越大、光合作用越强、生物量就越高,即鲜草产量就越高,此生理过程可通过植物反射光谱中不同波段的关系,间接从遥感数据的分析中得到证实。牧草产草量的估测是草原监测的重要内容之一。研究表明, $G_1$ 模式绿度值和 $G_3$ 模式绿度值与草原植物绿叶面积指数、牧草覆盖度和鲜草产量间存在较好的相关关系。通过这种稳定的统计关系可推知产草量。由于草原类型不同,应分区建立相关模式。了解产草量的地理分布是草原监测的又一重要内容,利用气象卫星资料与地面观测资料综合分析,按地面测产实况将绿度值分级,根据划分的级别,对全监测区划片、分区,给出产草量的高、低值区。此种图件可及时提供产草量的分布状况,并在一定程度上反映出草原类型和草场的利用强度。利用牧草生长季节内获取的多次气象卫星资料,可绘出一系列地面产草量分布图,从而可了解该季产草量的宏观动态分布和变化<sup>[9,10]</sup>。

自1985年开始,先后在我国新疆、内蒙等北方草原开展了多次气象卫星遥感监测草原资源的工作,取得了较好的服务效果。

#### 五、其它灾害监测

冻害和病虫害亦是造成我国农作物减产的重要灾害之一。应用气象卫星遥感资料进行作物宏观受害程度调查,便于有关领导尽快了解受灾程度和受灾范围,及时组织抗灾救灾。

大面积作物遭受冻害和病虫害之后,作物群体绿叶面积减少,在气象卫星绿度资料上表现为区域性绿度值减小<sup>[12,21]</sup>,尤其是冻害,受害症状在几天内便可显示出来。用受灾前后的气象卫星绿度资料可按下式求得绿度增量图。

$$R = (R_2 - R_1) / R_1 \quad (2)$$

式中 $R_1$ 、 $R_2$ 分别为受灾前和受灾后的绿度资料。图上的正值区表示植被仍可生长,接近于0的地区表示生长受到抑制,负值区表示已经受害,负值越大,受害越重。因此该图可较好地反映作物的受灾程度和范围<sup>[11]</sup>。

以上综述了气象卫星遥感资料在农业气象情报中应用的几个方面。由于气象卫星具有宏观、快速、客观等特点,它可弥补地面监测站网空间代表性的不足,提供宏观、及时、全面的农情信息。但是,如前所述,在卫星资料的应用过程中,离不开地面资料的支持,地面定点与非定点监测资料为解译卫星遥感资料、建立定量解译标准、组建相关模式等提供必不可少的依据。

目前,除国家气象局卫星气象中心外,不少省、自治区、直辖市气象局已装备或正在装备气象卫星接收及微机处理系统,这将为气象卫星的广泛应用奠定基础。随着气象卫星遥感资料应用技术的进一步开发,无疑将带来农业气象情报服务的新阶段。

#### 参 考 文 献

- [1] 徐建平,从气象卫星和资源卫星的比较谈气象卫星在非气象领域中的应用,气象,1984,5。
- [2] 谭凯球、李郁竹,遥感植被指数与冬小麦绿叶面积指数和麦土比的关系,遥感信息,1989年1期。
- [3] 肖乾广等,用气象卫星数据对冬小麦进行估产的试验,环境遥感,1卷4期,1986。

- [4] 王延颀、J. P. Malingreau, NOAA-AVHRR 对江苏省进行作物宏观监测的可行性研究, 环境监测与作物估产的遥感研究论文集, p. 56—62, 北京大学出版社, 1990。
- [5] 田国良等, 用 NOAA-AVHRR 数字图像和地面气象站资料估算麦田的蒸散和土壤水分, 黄河流域典型地区遥感动态研究, p. 161—175, 科学出版社, 1990。
- [6] 刘玉梓等, 旱涝灾情动态遥感监测研究, 环境监测与作物估产的遥感研究论文集, p. 99—108, 北京大学出版社, 1990。
- [7] 穆家修, 气象卫星实时监测洪涝灾害, 遥感信息, 1988年3期。
- [8] 曹述互等, 应用气象卫星图像监测辽河洪水, 遥感信息, 1987年3期。
- [9] 张孺等, 利用 NOAA-CCT 估算内蒙古草场产草量的原理和方法, 地理学报, 40卷4期, 1985年。
- [10] 毛赞猷, 内蒙古草场资源遥感制图, 遥感信息, 1986年1期。
- [11] 汤志成、孙涵, 用 NOAA 卫星资料作冬作物冻害处理, 遥感信息, 1989年4期。
- [12] Blakeman, R. H. et al, The Identification of Crop Disease and Stress by Aerial Photography, Applications of Remote Sensing in Agriculture, 1990, pp. 229—254, Butterworths, London.
- [13] Holben, B. N., Spectral Assessment of Soybean Leaf Area and Leaf Biomass, Photo. Engi. and Rem. Sen. 1980, Vol. 5.
- [14] Jackson, R. D., Soil Moisture Inferences from Thermalinfrared Measurements of Vegetation Temperature, IEEE, Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 1982, Vol. GE-20, No. 3, pp. 282—286.
- [15] Li Yuzhu, Estimating Production of Winter Wheat by Remote Sensing and Unified Ground Network: II. Nationwide Estimation of Wheat Yields, Applications of Remote Sensing in Agriculture, 1990, pp. 149—158, Butterworths, London.
- [16] Li Yuzhu et al, The Studies and Experiments on Synthetic Prediction of Winter Wheat Production in China with NOAA Polar Orbiting Satellite Data, Proceedings of the 11th Asian Conference on Remote Sensing, 1990, Vol. I. ACRS A-2-1-1, International Academic Publishers.
- [17] Malingreau, J. P.. Global Vegetation Dynamics: Satellite Observation over Asia, International Journal of Remote Sensing, 1986, Vol. 7, No. 9.
- [18] Nappi, A. et al, Precipitation Effects on Microwave Sounding Unit Data, Meteorology/Remote Sensing and Application, Williamsburg, VA. USA, 1986.
- [19] Schneider, S. R. et al, The Monitoring: A New Satellite Sensor for Monitoring Crop Growth, Machine Proceeding of Remote Sensing Data Symposium, 1982.
- [20] Tucker, C. J. et al, Remote Sensing of Total Drymatter Accumulation in Winter Wheat, Remote Sensing of Environment, 11, 1981.
- [21] Кондратьев, К. Я и др., Опыт определения содержания хлорофилла в листьях растений по цветовым координатам. Доклады АН СССР, 1982. том 262, Но. 4.