

应用 NOAA AVHRR 作大面积作物 监测——估测玉米吐丝期

K. P. Gallo

T. K. Flesch

(卫星研究实验室 NOAA/NESDIS)

(Purdue 大学农学系)

吐丝是玉米生长发育中的重要环节，该阶段的天气条件会危及作物的最终产量。掌握吐丝出现的时间及同期的气象条件对监测作物产量是重要的。在美国，根据田间观测可进行作物的发育期估测，然而，对于其它地区，这些资料则不易得到。因此，一种应用卫星监测吐丝期的方法被提出，并与基于地面的估测进行了比较。在地面估测吐丝期的一周内，由 NOAA AVHRR 可见光和近红外的周合成资料计算得出几种植被指数，并用它们来估测大面积吐丝出现期。对于已知的以玉米为主的大范围区域，当可靠的或有代表性的地面估测方法不能用时，这些指数可能是更为可取的估测吐丝期的方法。

一、引言

玉米吐丝是玉米生长发育的重要环节，它标志着植株生长阶段的结束和灌浆的开始。因为吐丝期的天气条件对作物的产量有着关键性的影响，所以，很多玉米产量模式均需预测吐丝期的出现时间 (Claassen 和 Shaw, 1970; Herrero 和 Johnson, 1980)。在美国，对作物发育期进行例行监测和报告，但在别的地区这些资料常常不容易获

得。

一种由日最高和最低温度计算出的和自播种期起按日累计得到的热量单位 (例如，生长度日) 可被用来估测吐丝日期。然而，吐丝期的热量单位值会随地区和品种而变化。应用热量单位亦局限于可获取温度资料的那些作物区。此外，还必须确定需要监测区域玉米品种达到吐丝所需的热量单位。Daughtry 等 (1984) 曾成功地应用热量单位估测了美国玉米带整个作物报告区的吐丝期出现时间。

玉米植株发育的吐丝期一般出现在植株绿叶面积出现最大值的 2 或 3 天内 (Dale 等, 1980, Williams 等, 1968)。玉米和其它作物冠层的叶面积指数 (LAI, 植株叶面积与植株所占土地面积之比) 与冠层反射辐射波段的特定组合紧密相关 (Gardner 等, 1985; Hatfield 等, 1985)。

最常与 LAI 最大值相联系的波段包括可见光和近红外波段。这两个波段的比值、差值和归一化差值已成为表征植被变化的指示值，并统称为植被指数。卫星监测吐丝期的方法能够用于吐丝期估测，如大面积吐丝期的变化，无需知道播种期、品种或需要

监测地区的最高最低温度。

Tucker 等 (1979) 提出了地面-田间试验中观测到的植被指数与玉米发育期之间的关系在地面研究中不存在象应用卫星资料监测作物的种种约束。Badhwar(1980)根据陆地卫星观测资料估测了小麦和大麦春季返青日期。尽管它还可以用来识别特定的作物 (Badhwar, 1984 a, b), 但是陆地卫星的观测频率妨碍它用于作物的实时监测。SPOT 卫星观测频率较高, 但由于其空间分辨率高, 所获得的资料量超过了大面积监测所需的资料。

从 NOAA/NESDIS (国家环境卫星资料信息局) 得到的 NOAA-AVHRR (改进甚高分辨率辐射仪) 逐日周合成资料, 该资料满足卫星监测大面积作物发育所要求的资料时间频率和空间覆盖。

本研究的目的在于通过与地面估测对比来评价应用 NOAA-AVHRR 的可见光和近红外数据识别较大面积上出现玉米吐丝期的能力。

二、资料与方法

被识别的作物报告区 (CRD) 位于美国的玉米带内 (图 1), 那里有一半以上的耕地种着玉米(美国商业部, 人口调查局, 1984)。所选的作物报告区的土地面积在 9933 km² (印第安那 CRD 2; 表 1) 到 18,910 km² (衣阿华 CRD 5) 之间, 在这个区域内, 容易取得作物发育的田间观测数据。

1. 应用 NOAA-AVHRR 估测吐丝

将获取的由可见光和近红外数据合成的周 NOAA AVHRR 全球植被指数 (GVI) 资料 (Tarpley 等, 1984; NOAA/NESDIS, 1986) 应用适当的斜率及截距进行标定 (Rao, 1987), 并按每个作物报告区求平均。本研究所用的卫星资料取自 1983 和 1984 年 4 月 1 日至 10 月 30 日 NOAA-7 的 AVHRR 测值。用波段宽度分别为 571—686 nm 和 713—866 nm 的可见光和近红外数据, 按

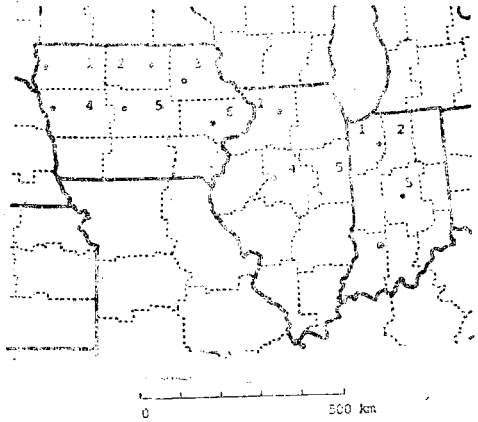


图 1 研究的作物报告区及天气站分布 (·)

表 1 用于计算日热量单位的气候资料站及各作物报告区土地面积

州	作物报告区	面积(km ²)	站
伊利诺斯	1	18321.1	Rockford WSO AP
	4	15830.0	Peoria WSO AP
	5	14684.4	Urbana
印第安那	1	10728.4	Kewanna 7NW
	2	9933.0	Kewanna 7NW
	5	15792.8	Indianapolis WSFO
衣阿华	1	17693.0	Sioux Center
	2	15723.9	Mason City FAA AP
	3	17053.4	Fayette
	4	17844.6	Castana
	5	18909.6	Ames 8WSW
	6	15645.3	Iowa City

50%的相应响应 (Kidwell, 1984) 计算了三种不同的指数值。本研究所用的植被指数是在一周的基础上计算的, 并做了 3 周及 5 周滑动平均。试用的有归一化差值植被指数

$$ND = (near-IR - VIS) / (near-IR + VIS)$$

比值植被指数

$$RVI = (near-IR / VIS)$$

和差值植被指数

$$DVI = (near-IR - VIS)$$

在给定的全球植被指数 (GVI) 象元内, 从一周的每日观测值中选留其 DVI 值最大的可见光和近红外值。每日在分辨率约为

4 km² 的全球面积覆盖 (GAC) 资料上作观测值抽样, 并将其标作一个 GVI 象元 (15 km²)。每天保留所形成的资料。因此, GVI 的象元数据是在 GVI 象元区域内可以利用的 GAC 资料通过取样得来的。

鉴于上述所用的资料处理程序, 在一个 GVI 象元内, 选留在周合成资料上的日抽样地表特征, 日际间可不必完全相同。例如, 一个包括了耕地和池塘的 GVI 象元可以包含来自某日的耕地的数据和另一日的池塘的数据。但是, 在合成过程中, 将剔除那些具有低 DVI 值的地表特征样本。因此, 那些可能包括水、裸地或其它具有低 DVI 值的地表特征的日样本将被从周合成资料中剔除, 以利于取得具有高 DVI 值的地表特征样本 (主要为玉米地)。

按 DVI 最大值保留在周合成资料中的可见光和近红外数据与按 ND 或 RVI 最大值所保留的该量值是一样的。一些独立的研究资料被用于检验 DVI、ND 和 RVI 两两之间的关系, RVI、DVI 和 ND 指数是用田间试验中得到玉米地模拟 AVHRR 波段的可见光和近红外数据 (Gallo 和 Daughtry, 1987) 计算得出。DVI 反映了 ND 指数中 92% 以上的变化 ($n=252$; $RMSE=0.05$; $F=3047.7$, $P\leq 0.0001$) 及 RVI 中 86% 以上的变化 ($n=252$; $RMSE=0.82$; $F=1666.6$, $P\leq 0.0001$)。因此, 根据每日 DVI 最大值得到的周合成资料将包括按 RVI 或 ND 值最大值保留在合成资料中的可见光和近红外数据。

在全生长季观测到的周植被指数季节最大值可用于估测吐丝的出现, 同样, 植被指数 3 周和 5 周滑动平均的季节最大值也可用于吐丝期估测。假定在该周内出现了吐丝, 则在这周一定观测到最大植被指数。

2. 用热量单位估测吐丝

在每一个作物报告区 (CRD) (图 1) 选择气候代表站 (表 1), 用日最高最低温度值 (美国商业部, NOAA, 1983—1984) 计

算每日最大和最小日温度函数 (FT) 热量单位 (Coelho 和 Dale, 1980) 如下:

$$FT=0.027 T-0.162 \quad \text{当 } 6^{\circ}\text{C}\leq T<21^{\circ}\text{C}$$

$$FT=0.086 T-1.41 \quad \text{当 } 21^{\circ}\text{C}\leq T<28^{\circ}\text{C}$$

$$FT=1.0 \quad \text{当 } 28^{\circ}\text{C}\leq T<32^{\circ}\text{C}$$

$$FT=-0.083 T+3.67 \quad \text{当 } 32^{\circ}\text{C}\leq T<44^{\circ}\text{C}$$

$$FT=0 \quad \text{当 } T<6 \text{ 或 } \geq 44^{\circ}\text{C}$$

由最大和最小 FT 再计算日平均 FT 值。

Coelho 和 Dale (1980) 及 Daughtry 等 (1984) 业已证明, 对估测作物报告区内吐丝出现期, FT 热量单位是有用的。Kewanna 站的资料被选来代表印第安那北部两个报告区。除 Kewanna 站以外所选择的气候资料站的观测时间或是下午或是午夜。在 Kewanna 站, 每日大约地方时 0800 时采集日最高最低温度资料。在 Kewanna 站第 i 日观测到的最高温度用于计算第 $i-1$ 日的热量单位。对最高温度的这种调整或“后置”是用来缩小在热量单位计算中由观测时间导致的 Kewanna 站与其它气候站可能出现的任何偏差。

为了试图比较用热量单位与用卫星资料和田间观测等方法估测的吐丝期, 在每个报告区仅用一个气候站就足够了。虽然所研究的作物报告区内, 可以从一个以上的站得到气候资料, 但是, 除美国和少数其它国家以外, 通常难以得到如此密集站点上的精确的实时资料 (J. A. Andresen, USDA/世界农业前景委员会, 1988, 私人通信)。

当热量单位累计到 36 FT 时, 则判断已出现吐丝。对于本研究选定的作物报告区, 该值的选择是依据 Daughtry 等提供的资料。根据所研究各州统计部门的公报服务资料, 若估计有 50% 的玉米面积已播种, 则其次日开始累积每个作物报告区的热量单位。为了便于与用卫星方法作出的估测相比较, 将用热量单位估测的吐丝日期也转换成年的气候周。正常情况下, 第一个气候周是接近 3 月

份的第一个星期。1983年的第一个气候周为2月27日至3月5日,1984年为2月26日至3月3日(闰年)。

3. 用田间报告估测吐丝

每7—10天州的公报服务就报告一次包含吐丝出现百分率的估测,这些公报服务资料被用来内插,以便确定在监测的英亩数中约50%面积已处于吐丝发育阶段的日和周。这样,就有三种不同估测吐丝期的方法可供比较:卫星、热量单位和田间观测。

三、结果与讨论

在衣阿华2号作物报告区计算出的1984年差值植被指数(DVI)显示了季节趋势(图2),其它指数和报告区亦与其相似(图3)。从第7气候周(14/4结束)至第16气候周(16/6结束),DVI近似线性增长,继而,其迅速增长直到接近第20周(14/7)而后进入平稳阶段。自25周后(18/8),指数值迅速减小,一直持续到第31周(29/9)。正如所料,3周和5周滑动平均的波动大为减小(波动通常是由云的干扰造成的)。

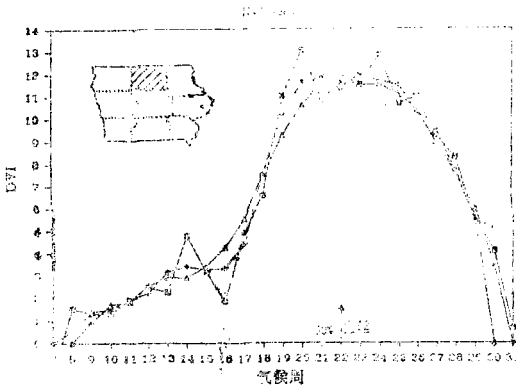


图2 衣阿华2号作物报告区1984年差值植被指数(DVI)的周(■)及3周(◆)、5周(△)滑动平均值,约50%取样面积处于吐丝期的周被标识出来

在1984年衣阿华2号作物报告区,公报服务估测的吐丝周与用DVI周指数及其3周、5周滑动平均指数估测的吐丝周误差分别为2、1、0周。而由周RVI指数值和3周、5周滑动平均RVI值对该区域作出的

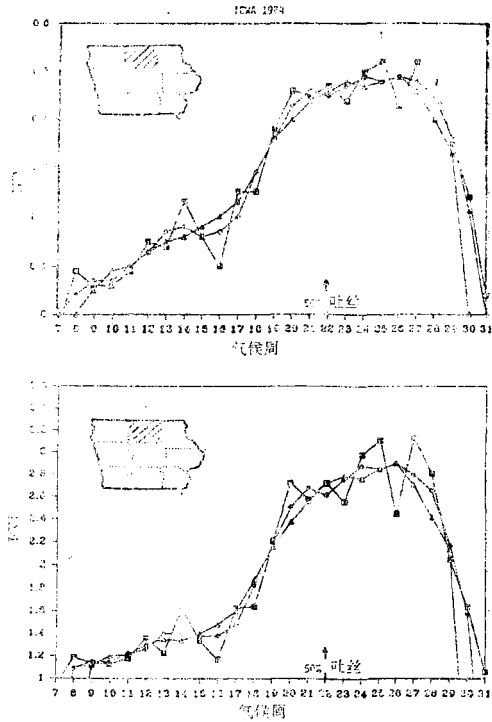


图3 衣阿华2号作物报告区1984年归一化差值(上图)和比值(下图)植被指数的周(■)及3周(◆)、5周(△)滑动平均值,约50%取样面积处于吐丝期的周被标识出来

吐丝期估测,其误差分别为5、4、4周。由相应ND指数作出的估测误差分别为3、2、4周(图3)。

DVI的季节变化类似于观测的几种玉米冠层参数的季节变化。玉米冠层叶面积系数和吸收的光合有效辐射的季节变化与DVI以及ND和RVI的季节变化相似(Dale等,1980;Gallo等,1985)。但在生长季中,ND和RVI的最大值往往比DVI最大值出现得晚些(图2、3)。

在本研究的2年和12个作物报告区(24个样本)中,温度驱动模式和DVI两者的估测误差都小于ND和RVI的误差(表2);热量单位和DVI估测的标准差也比ND和RVI要小(表2)。用周ND和RVI估测吐丝期比公报服务的估测时间要晚2周。周DVI的估测值比3周或5周滑动平均的估测(转封四)

(接88页)

表 2 热量单位和卫星-植被指数估测
的吐丝时间与公报服务估测间的平均
误差及标准差

估测方法	平均误差(周)	标准差
FT	-0.38	0.58
ND	2.42	2.89
DVI	-0.58	1.50
RVI	2.50	2.93
3-周ND	1.42	2.52
3-周DVI	-0.08	1.50
3-周RVI	2.21	2.50
5-周ND	1.29	2.07
5-周DVI	0.17	0.92
5-周RVI	2.08	1.95

误差稍大,这是由于指数的周际波动所致。但是,周DVI的估测值比周ND或周RVI的估测误差要小2周左右。

合成的ND指数常被用来筛选从植物生长区获得的资料,以便于减小太阳高度、远离星下点和大气对资料的影响(Tucker等,1985)。尽管ND可以产生时间上更平滑的信号(图3),不易受每周波动的影响,但是,它明显地滤掉了有用的信息(对于本研究目的来说)。本研究的结果反映出,作时间过滤(例如滑动平均或其它时间平滑技术)而不是直接应用观测值(如ND指数)对于

保护与植被有关的信息可能是较适当的技术。

结果表明,用卫星获取的差值植被指数估测吐丝出现期接近于温度驱动模式的估测结果(表2)。应用5周滑动平均值可以使标准差减小0.5周,但是,这种估测法在对吐丝作实时估测时可能是不切实际的。当吐丝估测的实时性作为一个因子时,主观地应用周DVI是可取的。由于云的干扰可能至少需要主观应用连续3周的DVI值作为周DVI相对最大值(例如第14周的相对最大值,图2)。

总之,用周DVI估测吐丝出现期效果接近于用热量单位法。虽然热量单位法的估测误差较小,但是,这种方法的需求(实时温度资料、播种日期、某品种达到吐丝所要求的热量单位)严厉地限制了它的应用。对于已知的大面积主要玉米种植区,当不能应用热量模式或者不能得到地面观测资料时,可用周DVI或其3周滑动平均值来估测玉米吐丝出现期。

谭凯琰译自«REMOTE SENS.
ENVIRON.»

No.27. 1989年
李郁竹 校