

NOAA 卫星玉米遥感估产方法的研究

林 艳

(河北省气象科学研究所, 石家庄 050021)

摘 要 利用美国国家海洋大气总署(NOAA)卫星空间覆盖度宽,运行周期短,资料获取时次多的特点,通过地面光谱观测寻求玉米遥感估产最佳时相期,经过对RVI理论推导出 f 值,在RVI混合象元中提取玉米长势信息,建立了河北省空间玉米遥感估产模式。经过三年的预报结果检验,误差小于5%。

关键词 光谱差异 最佳时相 玉米信息 估产模式

玉米是河北省主要粮食作物之一,全省年种植面积200多万公顷,总产965万吨左右,是河北省出口创汇和饲料加工的主要作物。准确及时地预报玉米产量是合理安排粮食生产、储运、加工、购销和进出口计划的重要依据。在玉米生长季节,地面绿色植被成份复杂,各种作物混杂生长,引起地面绿色信息变化的因素也比较多,加之NOAA卫星分辨率低,给玉米遥感估产带来一定的难度。本文通过样方地物光谱观测,对NOAA卫星遥感资料的混合象元进行一系列技术处理,突出玉米作物的长势信息。根据气候、土壤特点和玉米的产量水平,在河北省11个市的7个区域,分别建立了空间分布的遥感估产模式。通过三年的预报结果检验,误差小于5%,为大面积开展玉米遥感估产服务提供了技术依据。

1 资料来源及处理

河北省各县1980~1993年历年玉米、棉花、秋粮等作物的产量、面积资料取自河北省统计局。应用的卫星遥感资料(1990~1993年)由中国气象局卫星中心提供,通过几何校正及信息特征提取等一系列定量与非定量处理后,将第一($0.58 \sim 0.68\mu\text{m}$)、第二($0.725 \sim 1.10\mu\text{m}$)单通道组合成比值植被指数(RVI)和标准差植被指数(NDVI)等模式加工成空间分辨率为2.2km或1.1km的二维经纬度网格字符型数字图像。为消除大气对植被指数资料的影响,选用一周内最大值,剔除受云或大气状况影响时次的资料。经订正和筛选后的植被指数数字图像资料,按县级行政边界进行统计加工,以供分析和建立预报模式应用。

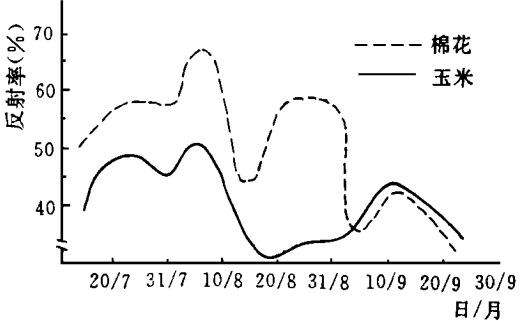
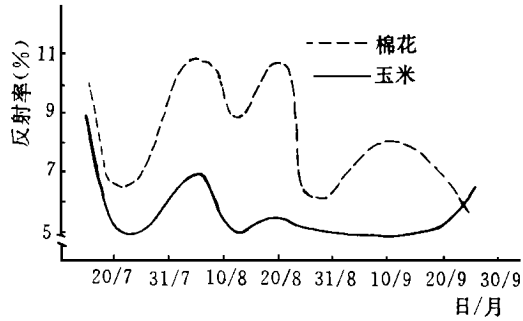
地物光谱观测以玉米为主,从1991~1992年在栾城县和冀县等地,利用RS-型四通道

野外光谱仪, 视场角 15°; 观测高度距作物 1.0~1.5m。其中四个独立光谱通道带宽分别为: 0.5~0.6 μm 、0.6~0.7 μm 、0.7~0.8 μm 、0.8~1.1 μm , 均在 AVHRR 第一、二通道波长范围内, 所得数据可直接与卫星遥感资料的亮度对比, 作为解译与最佳处理方案选择的依据。样方面积为 9 km^2 , 观测时间上午 10 时至下午 14 时, 与卫星过境时间同步进行。测量时用随机样方式测 4 次, 取其平均为作物的光谱。

2 结果与分析

2.1 玉米遥感估产最佳时段的选择

在秋季作物中, 有许多作物的生育期与玉米相交迭, 且这些作物在 0.4~2.5 μm 的光学波段内的光谱特征又很相似。如何从众多的农作物光谱反射中, 寻求玉米与其它作物光谱差异最大时段, 是提高玉米遥感估产准确度的前提条件。从河北省的种植面积上看, 主要是棉花与玉米相交迭。在生育期内, 经过 11 次的地面光谱观测可以看出(见图 1, 2), 玉米和棉花 VIR(可见光) 区域光谱反射率小于 IR(近红外) 区域, 反映出叶绿素对 IR 波段具有强反射特性; 无论是在 VIR 和 IR 波长区域, 棉花叶片的光谱反射率比玉米叶片高, 这种差异是由于两种作物叶



1 VIR 波段反射率随时间变化曲线(栾城 1992) 图 2 IR 波段反射率随时间变化曲线(栾城 1992) 片内部的不同构造所引起。棉花是双子叶植物, 玉米是单子叶植物, 双子叶叶片构造比单子叶具有较高的光谱反射强度。从时间上看, 玉米和棉花的光谱反射率从 8 月份以后差异明显。采用双因子方差分析(表 1), 设时相为 A 因子, 从 8 月上旬至 8 月下旬在 IR 域取 5 个水平光谱反射率; 作物种类为 B 因子, 取两个水平。其中 B₁为玉米、B₂为棉花, 检验 A、B 因子对光谱反射率的影响是否显著。检验结果, 8 月份的时相对作物影响不显著, 而玉米和棉花的光谱差异显著。进入 8 月份玉米的 LAI(叶面积指数) 达到最大值, 并在本月内变化幅度较小。叶面积指数越大, 叶绿素含量越多, 在 IR 波段反射率就越强, 净光合效率高而平稳。8 月份是玉米籽粒形成的重要阶段, 玉米估产所获取的遥感资料正反映了以叶面积为主的光谱信息。在河北省范

表 1 玉米和棉花光谱差异方差检验

| 种 类 | A ₁ | A ₂ | A ₃ | A ₄ | A ₅ | N | M | F _A 和 F _B | 自由度 | F | A、B 因子的影响 | |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---|---|---------------------------------|-------|------|-----------|-----|
| | 1/8 | 7/8 | 13/8 | 19/8 | 24/8 | | | | | | | |
| B ₁ 玉米 | 45 | 51 | 38 | 31 | 34 | 5 | 2 | F _A | 2.29 | 4, 4 | 16.0 | 不显著 |
| B ₂ 棉花 | 57 | 68 | 45 | 57 | 59 | | | F _B | 22.49 | 1, 4 | 21.2 | 显著 |

围内,一般到 8 月中旬地区间玉米生育期的差异较小,故玉米遥感估产的最佳时相期为 8 月中下旬。

2.2 玉米遥感产量相关信息的提取

NOAA 卫星 AVHRR 的第一、二通道光谱波长范围大,其星下点 1.1km 分辨率的每个象元代表 100hm^2 的面积,在这样大的面积上不可能单一种植一种作物。因此,NOAA 卫星所提供的信息是综合信息,均为混合象元。根据光谱分析,玉米在最佳时相期, LAI 处于最大值且有 30 天的稳定少变时期,反射率变化也很小,基本不受生育进程的影响,玉米长势的空间差异已不再影响植被指数值,决定该值大小则与玉米面积关系很大。此期采用面积订正方法,剔除植被指数中非玉米面积,增强玉米长势信息。由 IR 比上 VIR 组成的 RVI 是绿色植物较为灵敏的指数,适于农作物长势监测和估产。在 RVI 中提取玉米长势信息方法为:

$$\text{RVI} = \frac{\rho_I}{\rho_V} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \rho_{Ii}}{\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \rho_{Vi}} \quad (1)$$

式中, RVI 为比值植被指数, n 为作物种类, i 为第 i 种作物面积比例系数, ρ_{Ii} 为第 i 种作物 IR 反射率, ρ_{Vi} 为第 i 种作物 VIR 反射率。

根据河北省作物种植结构的特点,将(1)式中 ρ_I 、 ρ_V 展开得出:

$$\rho_I = \sum_{i=1}^4 \alpha_i \cdot \rho_{Ii} = \alpha_1 \cdot \rho_{I1} + \alpha_2 \cdot \rho_{I2} + \alpha_3 \cdot \rho_{I3} + \alpha_4 \cdot \rho_{I4} \quad (2)$$

$$\rho_V = \sum_{i=1}^4 \alpha_i \cdot \rho_{Vi} = \alpha_1 \cdot \rho_{V1} + \alpha_2 \cdot \rho_{V2} + \alpha_3 \cdot \rho_{V3} + \alpha_4 \cdot \rho_{V4} \quad (3)$$

$$\text{RVI} = \frac{\alpha_1 \cdot \rho_{I1} + \alpha_2 \cdot \rho_{I2} + \alpha_3 \cdot \rho_{I3} + \alpha_4 \cdot \rho_{I4}}{\rho_V} \quad (4)$$

根据实地样方各作物光谱观测值得出:

$$\frac{\rho_{V3}}{\rho_{V1}} = 1.94 \quad \frac{\rho_{V4}}{\rho_{V1}} = 2.25 \quad \frac{\rho_{V2}}{\rho_{V1}} = 1$$

$$\text{RVI}_1 = \text{RVI}_2 = \text{RVI}_3 \quad \text{RVI}_4 = 0.45\text{RVI}_1$$

将上述比例关系代入(3)、(4)式化简得出:

$$\text{RVI} = \text{RVI}_1 \cdot \frac{1.56 - 0.66\alpha_3 - 1.1\alpha_5}{2.71 - 1.84\alpha_3 - 2.48\alpha_5} \quad (5)$$

为了统计和大面积遥感估产的应用,以县作为估产的统计单位,故县级 RVI 总值为:

$$\sum \text{RVI} = \text{RVI} \cdot S \quad (6)$$

将(5)式代入(6)式整理得出:

$$\sum \text{RVI}_1 = \sum \text{RVI} \cdot \frac{S_1(2.71S - 1.84S_3 - 2.48S_5)}{S(1.56S - 0.66S_3 - 1.1S_5)} \quad (7)$$

$$\text{令: } f = \frac{S_1(2.71S - 1.84S_3 - 2.48S_5)}{S(1.56S - 0.66S_3 - 1.1S_5)}, \text{ 则 } \sum \text{RVI}_1 = \sum \text{RVI} \cdot f \quad (8)$$

由上述公式可以看出,只需知道某县的土地面积 S , 当年的玉米种植面积 S_1 、棉花种植面积 S_3 和秋粮面积 S_5 , 得出订正值 f , 即可计算出该县的玉米 RVI 值。

2.3 玉米遥感估产模式的建立及检验

根据河北省 133 个玉米产县种植方式、气候特点、土壤类型和产量水平等,划分为 7 个产

量预报区(表 2), 共计 129 个样本县。从表 2 中可以看出, 在 7 个估产区内, 4 种类型没有完全相同的区域。根据 1990 年卫星资料, 在玉米的最佳时相期, 选择一周内 RVI 最大值, 利用各县的土地、玉米、棉花和秋粮面积计算出 f 值后, 对其混合象元 RVI 总值进行订正, 得出每个样本县玉米的总 RVI 值, 然后再同玉米总产建立回归关系, 组建空间玉米遥感估产模式(见表 3)。全省玉米单、总产遥感模式为:

$$Y_{总} = \sum_{i=1}^n y_i \qquad Y_{单} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \cdot \frac{y_i}{S_i}$$

(9)

式中, S_i 为第 i 个区域玉米面积, $i = 1, 2, 3, \dots, 7$

表 2 玉米遥感估产分区特征

| 地 区 | 种植方式 | 气候特点 | 土壤类型 | 单产(kg/ 亩) |
|-------|-----------|----------|-------|------------|
| 张—承 | 春 播 | 半干旱冷温气候区 | 棕壤、褐土 | 296 |
| 秦—唐—廊 | 麦、玉宽行套种 | 半湿润中温气候区 | 褐 土 | 349 |
| 保 定 | 麦垅点播 | 半湿润中温气候区 | 褐、潮土 | 303 |
| 石家庄 | 麦垅点播 | 半干旱暖温气候区 | 褐 土 | 437 |
| 沧—衡 | 麦垅点播 | 半干旱暖温气候区 | 盐化潮土 | 257 |
| 邢 台 | 麦垅点播 | 半湿润暖温气候区 | 褐、潮土 | 257 |
| 邯 郸 | 麦垅点播或麦茬平播 | 半湿润暖温气候区 | 褐、潮土 | 302 |

通过对订正前和订正后的相关性结果检验对比分析看(见表 4), 订正前只有邢台、沧—衡两地区仅通过了 0.10 和 0.02 的信度检验, 其它 5 个地区总 RVI 值与玉米总产相关性很小, 尤其有 3 个地区还出现了负相关, 而经过 f 值订正后的 7 个地区均通过了 0.001 信度显著性检验, 充分说明在混合象元中没有突出玉米长势信息所致。

表 3 玉米遥感估产模式

| 地 区 | 模 式 |
|-------|------------------------------------|
| 张—承 | $y_1 = 10624.96316 + 112.6382654X$ |
| 秦—唐—廊 | $y_2 = 39501.25074 + 101.2910197X$ |
| 保 定 | $y_3 = -3084.16016 + 186.4001652X$ |
| 石家庄 | $y_4 = -2849.840779 + 230.67559X$ |
| 沧—衡 | $y_5 = 8948.38066 + 105.92483114X$ |
| 邢 台 | $y_6 = 1973.624095 + 113.2103114X$ |
| 邯 郸 | $y_7 = 206.7280226 + 135.447657X$ |

注: X 为订正后的玉米 RVI 值

表 4 订正前和订正后相关检验对比

| 项 目 | | 张—承 | 秦—唐—廊 | 保定 | 石家庄 | 沧—衡 | 邢台 | 邯郸 |
|-----|--------------|-------|---------|---------|---------|-------|-------|-------|
| 订正前 | r | 0.306 | - 0.050 | - 0.075 | - 0.056 | 0.528 | 0.440 | 0.127 |
| | r_{α} | | | | | 0.492 | 0.412 | |
| | α | | | | | 0.020 | 0.100 | |
| 订正后 | r | 0.798 | 0.796 | 0.820 | 0.865 | 0.859 | 0.910 | 0.875 |
| | r_{α} | 0.742 | 0.693 | 0.652 | 0.725 | 0.630 | 0.725 | 0.780 |
| | α | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| n | | 16 | 19 | 22 | 17 | 24 | 17 | 14 |

利用上述模式对 1991 ~ 1993 年全省玉米遥感估产检验结果(表 5), 除邢台地区 1993 年估产值与实产误差超过 5% 以外, 其它地区误差均小于 5%。虽然三年所利用的卫星资料时间

不同, 因都处于 LAI 的最大值平稳少变阶段, 故对估产不需订正处理。证明了采用订正方法建立的估产模式经过检验已达到了产量预报精度的要求, 既有理论依据, 又有可操作性, 适合大面积玉米遥感估产的应用。

| 表 5 估产值与实测值比较 | | | | | | | | | (单位: 万吨) | |
|---------------|-----|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|------------|---------|
| 年份 | 张—承 | 秦—唐—廊 | 保定 | 石家庄 | 沧—衡 | 邢台 | 邯郸 | 全省 | 卫星资 料时间 | |
| 1991 | 估产值 | 91. 32 | 241. 53 | 165. 12 | 171. 71 | 126. 25 | 52. 00 | 69. 32 | 922. 24 | 8 月 17, |
| | 实产值 | 94. 70 | 231. 88 | 166. 64 | 174. 24 | 126. 52 | 52. 68 | 68. 70 | 915. 98 | 18, 19 |
| | 误差% | 1. 71 | 4. 16 | 0. 91 | 1. 45 | 0. 21 | 1. 29 | 0. 90 | 0. 68 | 21 日 |
| 1992 | 估产值 | 107. 17 | 242. 27 | 171. 60 | 178. 15 | 94. 68 | 41. 69 | 52. 54 | 897. 1 | 8 月 17, |
| | 实产值 | 109. 13 | 236. 05 | 180. 23 | 182. 76 | 95. 60 | 39. 79 | 50. 35 | 893. 9 | 18, 19 |
| | 误差% | 1. 80 | 2. 64 | 4. 79 | 2. 40 | 1. 04 | 4. 78 | 4. 35 | 0. 36 | 24 日 |
| 1993 | 估产值 | 100. 97 | 254. 54 | 177. 63 | 189. 32 | 157. 84 | 58. 67 | 97. 54 | 1035. 98 | 8 月 |
| | 实产值 | 99. 66 | 256. 61 | 181. 30 | 184. 71 | 150. 91 | 55. 03 | 94. 43 | 1022. 74 | 13 日 |
| | 误差% | 1. 31 | 0. 81 | 2. 07 | 2. 50 | 4. 59 | 6. 61 | 3. 29 | 1. 29 | |

3 结论与讨论

选择适宜时机, 及时地取得实时遥感资料, 是提高玉米遥感估产准确率的重要环节。根据作物叶片内部结构不同光谱反射率不同的特点, 经地面光谱和叶面积观测分析, 得出玉米光谱反射特性在不同的生育阶段与棉花有差异, 以 8 月份差异最明显, 并且在这差异期内玉米的 LAI 已达到最大值, 是产量形成的重要阶段, 通过双因子方差分析检验, 玉米和棉花在 IR 域差异显著, 确定出河北省玉米遥感估产的最佳时相期在 8 月中旬至 8 月下旬。

尽管 NOAA 卫星空间分辨率较低, 仅从混合象元中难以直接反映出玉米长势信息, 但是当玉米 LAI 达到最大值时, 玉米长势的空间差异已不再影响 RVI 的变化, 决定该值大小与玉米面积关系很大。依据 RVI 混合象元的光谱组成原理、作物光谱反射特性和各种作物的种植面积, 得出了 f 值, 剔除了非玉米信息, 突出了玉米长势信息。

经过 f 系数订正的 RVI 值与玉米产量相关性均通过 0. 001 水平的显著性检验, 得出了玉米产量与 RVI 值成正比的关系。三年模式检验, 误差均小于 5%。证明了此模式组建合理, 适用于大面积玉米遥感估产。

鸣谢 本论文在撰写中曾得到中国气象科学研究院李郁竹老师的指导, 谨表感谢。

参 考 文 献

- 1 王清礼. 玉米生育期气候条件及区划. 见: 河北省农业气候及其区划. 北京: 气象出版社, 1988, 90 ~ 91
- 2 邹兆平. 遥感与农业. 北京: 农业出版社, 1983, 22 ~ 25
- 3 汪逢熙等. 棉花遥感识别的最佳时相及地面模式. 见: 环境监测与作物估产的遥感研究论文集. 北京: 北京大学出版社, 1991, 89 ~ 90
- 4 北京农业大学主编. 作物生理学. 北京: 农业出版社, 1980, 128 ~ 129

A Study on Corn Yield Estimation by Using NOAA Satellite Remote Sensing Data

Lin Yan

(Hebei Meteorological Institute, Shijiazhuang 050021)

Abstract The NOAA meteorological satellite scans a wider spatial band on earth in its every running cycle and the cycle time is shorter. So getting its remotely sensed data is easier. Through the analysis of ground spectral data during corn growth, the optimum time for corn yield estimation by remote sensing was obtained. By a f value deducted from RVI theory, the corrected spectral information reflecting the corn growth conditions was extracted from the satellite remotely sensed data. Depending all these studies, a corn yield estimating model by remote sensing method using NOAA data was established. In practical corn yield predication during the last 3 years, the errors from this model were all less than 5%.

Key words: Spectral difference; Yield estimation model; Corn growth information; Optimum time