遥感作物估产的一个改进模式

张 仁 华

（中国科学院地理研究所，北京）

一、引 言

遥感作物估产在许多国家正在积极开展．美国宇航局等先用遥感方法鉴别作物与估算面积，并在当年产量＝历史平均产量＋倾向＋天气影响的基本思想指导下，建立作物产量与气温、雨量的计算模式，根据预报的天气对产量进行逐月逼近估算[1]．美国学者 S. B. Idso[2] 试图更多地利用遥感信息进行作物估产．他在田间试验的基础上，提出一个所谓“SDD”概念（Srees degree days），用每日 14:00 的作物活动面温度（用红外测温仪测量）和气温的差值进行累计．差值中包含了土壤水分和气温的信息．以作物反射率的转折日期作为累计起始日期，以此累计值与作物产量相关．他们在美国很多地方重复了这试验，取得很好的结果．相关系数竟达 0.98．这方法的关键是如何确定累计 SDD 值的起始与终止日期．最近他们又把累计前生长期的太阳辐射总和对累计值进行补偿，提出了不同作物的估产统一模式[3]．

我们在实践中认识到，利用 Idso 模式有两点尚需改进．(1) 利用作物反射率的变化确定累计值起始日期，特异性不明显．(2)利用太阳辐射值作统一模式的修正，不能用遥感方法，必须设很多地面辐射观测点，限制了模式的应用．1981 和 1982 年，我们在山东禹城对小麦、玉米、大豆进行小区估产试验．在试验基础上，提出了一个新的确定累计起始日期的方法；提出另一种补偿统一模式的参数．旨在更多地应用遥感信息进行估产．

二、试验方法及其结果

试验地是土质肥力均匀的中壤土．划分 12 块等面积小区，每小区 25m²．利用井灌保持六种不同土壤水分含量．自东至西按区交替种大豆、玉米．收割后种小麦．从播种开始，每日观测三次．观测内容有气温、气湿、风速(均离地面或活动面 1.5 米)、作物活动面温度（用日本 ER 2007 型红外测温仪测量）、比辐射率和环境辐照度．约隔一星期左右用国产 101W 型光谱仪测量一次作物野外反射光谱．101W 型光谱仪，在 1 小时以上时段的观测，有时会出现 5% 左右的零点漂移．不过我们在每一个反射率数据测量中，地物与参考板的观测时段均在几分钟之内，基本上无漂移，并每次观测前均调零，加上反射率的计算取相对比值，因此不影响观测精度．

众所周知，小麦的抽穗、玉米的抽雄、大豆开花均标志着干物质将开始积累．正确地用遥感方法确定干物质积累开始日期，对估产至为重要．

分析如上三种作物的 0.4—1.1μ 波段光谱，发现近红外波段反射率与可见光某一波段反

本文 1983 年 2 月 21 日收到．

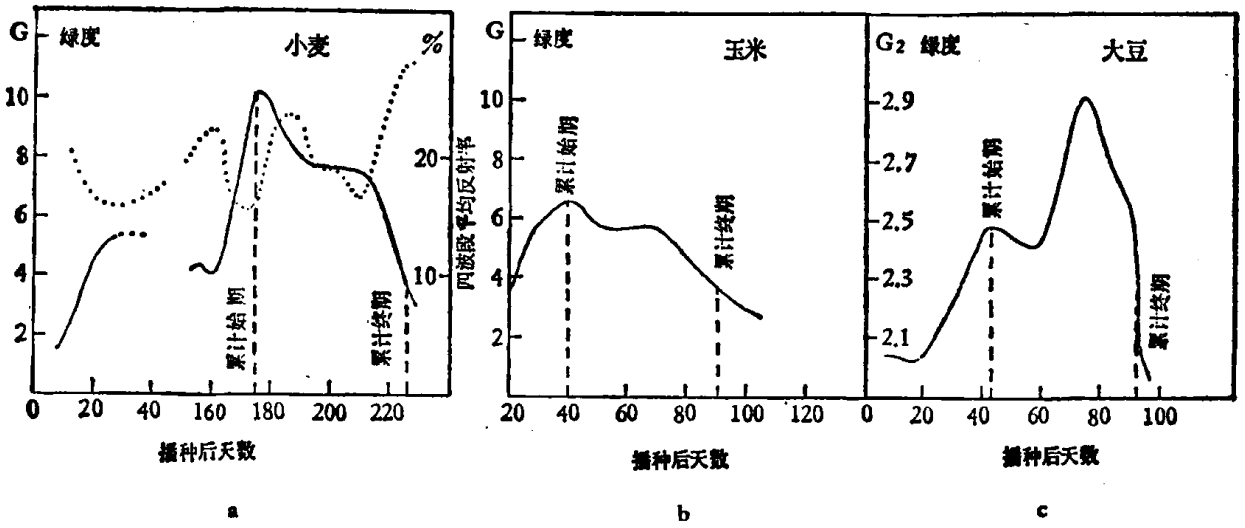


图 1　小麦、玉米、大豆的绿度时间剖面曲线

射率的比值，可以敏感地反映作物长势、叶绿素含量，叶面积指数等．有很多文献[4]，把这种比值或组合称作绿度(Degree of greenness)．本文利用的绿度定义为 G = MSS7/MSS5，或 G = TM4/TM2，这里 MSS7，MSS5 分别为 0.8—1.1μ，0.6—0.7μ 的平均反射率．即陆地卫星 3 的第 7 波段与第 5 波段．$TM4$，$TM2$ 分别为 0.76—0.90μ，0.52—0.60μ 的平均反射率，即陆地卫星 D的第 4、第 2 波段．图 1a,b,c 分别为小麦、玉米和大豆的绿度时间剖面曲线．观测资料表明，小麦的绿度峰值在 4 月13日，与叶绿素含量峰值很一致．玉米的绿度峰值在 7 月11日也与叶绿素含量峰值吻合较好．在绿度峰值以后，由于穗头逐渐出现，叶绿素含量逐渐下降，作物的干物质开始积累．从图 1 中看出绿度的转折极为明显，特征性很强．仅用全波段的反射率的转折确定这个日期不够鲜明．并与叶绿素含量变化曲线不相吻合．出现多个反射率数值相近的最低、最高值．见图 1a 中虚线．近红外波段反射率在抽穗后变小，而黄波段反射率却增强，采用全波段的平均反射率，势必中和了一些有用信息．

六块冬小麦试验地，用绿度的转折作为累计起始日期，以黄熟期的绿度作为终止日期，累计了 SDD 指标的总和，与每块小麦实际产量 (y) 作相关分析，其相关方程为：$y = 295.79 - 0.48 \sum_{i=b}^{e} \mathrm{SDD}_i$，式中 b 为起始日期，e 为终止日期．其相关系数达 0.99，见图 2a．结果表明这累计起始日期与终了日期是合适的．

为了分析比较估产模式中作物活动面温度与气温两者对产量信息的贡献，用六块小麦活动面温度的日较差 ΔT_{lf} 进行累计，将其累计值与产量相关，也得到一个高度线性相关方程 $y = 957.16 - 0.42 \sum_{i=b}^{e} \Delta T_{lf_i}$，相关系数仍为 0.99．分解 ΔT_{lf}，$\Delta T_{lf} = T_{max} - T_{min} = 2\left(T_{max} - \frac{T_{max} + T_{min}}{2}\right)$，实际上 $\frac{T_{max} + T_{min}}{2}$ 是接近作物活动面日平均温度，表征着作物活动面平均状况，当然与空气温度有密切关系．因此日较差累计值与 ∑SDD 概念相近．另外，一个有意义的现象：作物活动面虽然增加了一项由气孔开闭所控制的蒸腾，然而试验表明，当土壤和作物株茎饱含水分时，活动面温度日较差变小．反之，日较差就变大．似乎也像非生命地物一样具有热惯性．利用作物活动面温度的日较差累计值估算作物产量，最大的优点是纯粹采用遥

感获得的信息.

如用相距 1 公里以远的气象站百叶箱的气温代替小麦活动面上空 1.5 米的气温，其结果仍有0.98的相关系数. 33℃气温是总蒸发与净辐射相等的临界值上限[6]，用此值代替活动面上空的气温，也得到高度相关的方程，相关系数为 0.99，即 $y = -71.82 - 0.48 \sum_{i=b}^{e} SDD_i'$. 对以上几个相关方程的分析，可以领悟到作物活动面温度在作物估产中起了主宰作用.

玉米与大豆大部分时间生长在雨季，土壤水分不易控制，规律没有小麦明显. 但到生长后期六种不同土壤湿度处理的累计值也逐渐拉开，仍有小麦类似的规律性. 玉米的相关方程为 $y = 80.0 - 8.72 \sum_{i=b}^{e} SDD_i$，相关系数也达 0.96. 不过，若不采用绿度峰值作为累计起始日期，相关系数均下降. 大豆的相关性较差，相关方程为 $y = 13.39 - 2.87 \sum_{i=b}^{e} SDD_i$，相关系数为 0.64.

三、统一模式的探讨

以上三种作物相关方程各有差异，它们是否存在统一的估产模式？在这方面美国 Idso 已做了不少工作. 他利用累计前太阳辐射值总和与一个标准值相比较，所谓标准化，得到一个统一的模式，显然这种思路是正确的. 但是，我们认为太阳辐射值是属于外界气象条件，外因通过内因起作用，如果在作物本身能找到更直接的补偿参数，那末不仅不需要为估产建立密集的辐射观测网，而且能反映作物本身在生长发育上的差异. 通过分析，认为绿度是较好的补偿参数. 我们把各种作物在 SDD 累计之前的绿度积分值与一个标准绿度值相比较，然后把相除的比值与实际产量相乘，得到相对比较产量 y'，即 $y' = y \frac{G_{st}}{\int_{t_1}^{t_2} g(t)dt}$，这里 G_{st} 为标准绿度值，$g(t)$

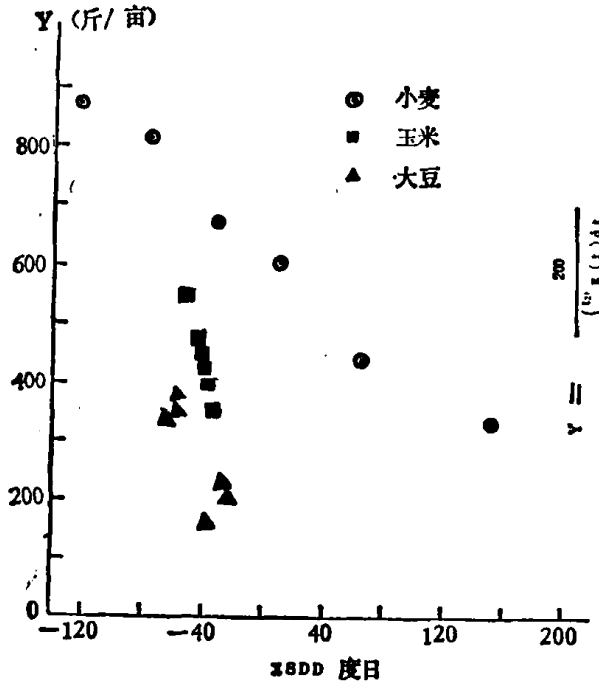


图 2a 三种作物标准前的相关图

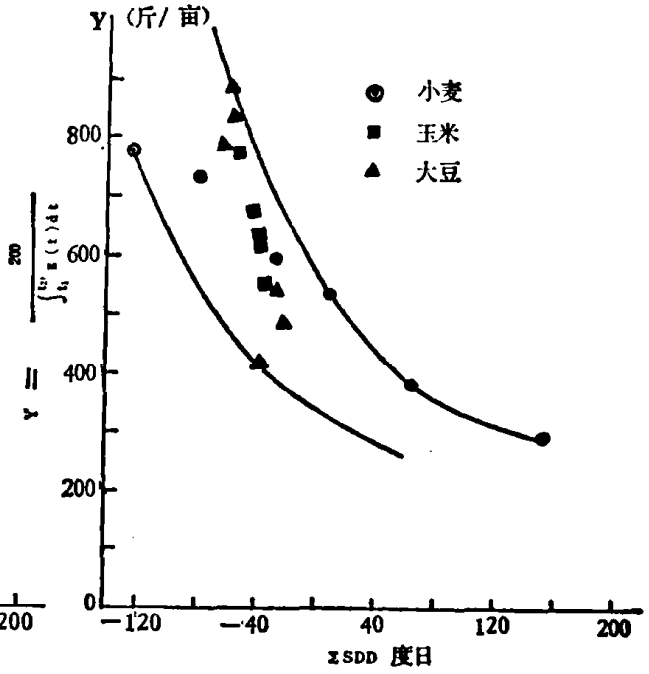


图 2b 三种作物标准化后的相关图

为绿度随时间的变化函数. 可根据实际曲线作出逼近函数或作数值积分. t_1 为出苗初期，t_2 为累计开始期. 根据实际资料，确定 $G_{t_1} = 200$，图 2a 及图 2b 为标准化前后的三种作物的相关图. 由图 1 可知，经过标准化后，三种作物的相关点集中在一个指数方程带内，分散性得到明显改善.

建立多种作物的统一模式后，这种估产方法不仅对大面积单一作物适用，对较小面积（大于卫星影象图分辨力）多种作物也能适用. 在实际应用中先用陆地卫星多光谱（MSS，或 TM）影象图（或磁带），根据影象密度，采用内、外定标法[5]求出每个象元的反射率，算出绿度，按绿度时间函数，鉴别作物. 再利用配准的热惯性卫星或气象卫星红外热象图. 以内定标法，求出相应象元的红外出辐射度，并换算成活动面温度. 最后，结合地面气象站气温资料及绿度峰值日期、峰值前积分值，一并算出 SDD 累计值及补偿参数. 根据相关方程估算出作物产量. 这一过程当然要高速计算系统及图象处理系统才能完成. 由此可见，这种估产方法的关键在于卫星图象的分辨力，以及如何获得每日的精确作物活动面温度资料，本文的估产模式是解决该问题的前提.

参 考 文 献

[1] Jerry, D. H. et al., *Journal of Applied Meteorology*, 19(1981), 1: 22—34.

[2] Idso, S. B. et al., *Science*, 1977, 196: 19—25.

[3] Idso, S. B. et al., *Agric. Meteorol.*, 1980, 21: 205—211.

[4] Malila, W. A. et al., *Proceeding of tre 14th International Symposium on Remote Sensing Enviroment*, 1980, 793—799.

[5] 张仁华，第十四届国际环境遥感会议论文集（英文版），1980，121—133.

[6] Sumayao, C. R. et al., *Agric.* Meteorol., 1980, 22: 153—166.