

产量动态预报<sup>①</sup>

王石立 马玉平 刘文泉 林日暖 庄立伟

(中国气象科学研究院,北京 100081)

## 提 要

针对信息时代 Internet 网上用户对产量预报动态查询的需求,探讨了面向 Internet 的农业气象产量预报的解决方案。试验结果表明,由于作物生长发育和产量形成是一个光、温、水、土条件长期、综合作用,生物量长期累积的过程,因此利用积分回归方法,考虑全生育期光、温、水气象因子的综合影响,根据已出现的天气实况,在假定后期天气条件正常的情况下,有可能预测出未来产量的趋势。随着天气实况的逐一出现,后期的预报结果可望逐步接近实际值。统计检验和试报结果误差均在允许范围内。

关键词: Internet 产量预报 动态 农业气象

## 引 言

农作物产量气象预测预报是根据农作物生长过程与气象条件的相互关系,通过数学模式估测未来农业生产的发展趋势和最终产量的一种专业性气象预报。其发展过程是气象为农业服务,科研成果转化为业务应用的成功典范<sup>[1]</sup>。经过 70 年代末至 80 年代几次大范围全国性科研协作后,农业气象产量预报已转入业务运行,由国家、省级发展至地、县,由粮食作物扩大为经济作物,并相继建成界面友好、功能强大的计算机软件系统。近年来,除了较少一些研究对预报方法的探讨外<sup>[2~5]</sup>,更新的工作不是很多。然而,社会经济的发展,特别是农业生产对农业气象产量预报的需求仍在日益增加,如时效更长、准确率更高的预报,全球作物产量预报,利用网络技术面向市场和公众的动态预报等等。

目前产量预报的编制是在对当地农业生产气象条件分析基础上,根据气象资料 and 实

际产量资料,选择对农作物生长、发育及产量形成有影响的地面光、温、水气象要素和大气环流、海温等因子,建立包含特定时段、特定因子的产量预报模型,在因子实况出现后进行预报。显然,受选择因子及出现时段所限,这种预报方法不能适应信息时代 Internet 网上用户对产量预报的动态需求。本文探讨了面向 Internet 的农业气象产量预报的解决方案,试图实现根据作物生长期各个不同时段光、温、水条件,动态预测最终产量。

## 1 资料处理和方法

收集了我国 6 种主要农作物(小麦、早稻、晚稻、一季稻、玉米、棉花)主产省的粮食单产资料(取自国家统计局部门年鉴)。各作物主产省的确定以省平均总产量占全国总产量的 2%~5% 以上者为原则。冬小麦选取 11 省区,双季早晚稻选 7 省区,一季稻选取 10 省区,玉米选取 10 省区,棉花选取 6 省区。各省区各作物产量资料的序列长度不一。冬

① “十五”国家科技攻关计划重点项目“农业信息化技术研究”之第 2 课题第 2 专题“农业气象信息资源开发与共享技术研究”(2001BA513B02-2)资助

小麦、棉花为 1961~2001 年(其中新疆冬小麦 1977~2000 年)。水稻、玉米 1977~2000 年(一季稻长江中下游地区省为 1984~2000 年)。

各省气象要素值以该省某作物产区分布均匀的代表性气象站点气象资料进行平均,站点数 3~10 个不等。考虑到便于业务化实施,气象要素只选易于获得和更新的平均温度、降水量和日照时数,以旬为单位。2001 年留作试报检验。

产量序列各自选择适当的方法模拟产量趋势项,进而分离出气象产量。经试验,大多数作物以直线滑动平均方法模拟趋势产量效果最好。

为了能获得作物生育期内每旬光、温、水 3 个气象因子对产量贡献的信息,分别建立 3 个单因子积分回归模型<sup>[6]</sup>,再进行加权集成。首先假定气象产量分别和生育期内各旬温度、降水、日照时数具有下列关系:

$$\hat{y} = c + \sum a(t)x(t) \quad (1)$$

为解决因子多、样本少的矛盾,将  $a(t)$ 、 $x(t)$  均按时间  $(t)$  的正交多项式展开,得到

$$\hat{y} = c_0 + \alpha_0 \rho_0 + \alpha_1 \rho_1 + \alpha_2 \rho_2 + \cdots + \alpha_k \rho_k \quad (2)$$

式中  $\rho_k = \sum_1^n x(t)\phi_k(t)$ , 用气象要素值  $x(t)$  配合正交多项式  $\phi_k$  求得,  $k$  为多项式次数。 $n$  为划分的生育期时段,即旬数,起止时间根据各作物各主产省的实际情况确定。 $a(t) = \sum_k \alpha_k \phi_k$ , 表示气象要素  $x$  每改变一个单位对气象产量的影响大小。

在分别得到温度、降水、日照与产量的积分回归模型后,计算各模型的拟合误差,再以 3 个要素的平均拟合精度为权重进行加权平均,得到气象产量的集成预报模型。与趋势产量相加即为拟合产量。

气象产量的积分回归模型通常用于获取分析气象要素对产量影响的季节变动信息,即生育期内不同时段的影响系数。而当用于产量预报目的时,需重新计算预报年气象因子与正交多项式相乘的  $\rho_k$  值。本文在生育

期各个阶段(约出苗后一个月起),分别用前期各旬温度、降水、日照实况和未来各旬气候平均值代入模型计算,得到不同起报点估算的气象产量,从而实现动态预报的目的。

考虑到业务化实施的需要,研究中开发了相应的产量动态预测系统软件,包括历史产量建模评估和产量动态预报两大部分。前者对相应作物主产区的作物产量进行趋势产量处理、气象产量模拟计算及历史统计检验,结果可以进行图示或分析。后者根据所选择的模型进行预报。系统允许任意选择预报的起始旬。

## 2 结果分析

建立了 6 大作物各主产省(区)的产量动态预报模型。重点对其中 26 个模型进行了详细的预报效果检验和试报检验。

### 2.1 历史拟合检验

计算了由光、温、水三因子积分回归模型加权集成后的气象产量拟合值与由趋势产量分离出的气象产量的相关系数。相关系数统计检验结果表明 26 个相关系数全部通过信度为 0.05 的显著性检验,69% 的模型通过信度 0.01 的显著性检验。对气象产量和趋势产量分别拟合后得到的拟合产量与实际产量的相关性很好,相关系数全部大于 0.9,通过信度 0.01 的显著性检验,其中 22 个在 0.95 以上。从产量历史拟合误差的统计分析看,26 个模型中有 20 个模型的 40 年平均误差  $r \leq 6\%$ ,占 77%;其余 6 个模型平均误差在 6.3%~9.0%。另外,对各模型历史拟合误差  $< 5\%$ 、 $< 10\%$  的发生概率统计表明大多数模型的误差情况可以接受。有 10 个模型误差小于 5% 的概率在 80% 以上;12 个模型为 50%~80%。18 个模型(占 70%)90% 以上的年份中拟合误差小于 10%,3 个模型误差  $< 10\%$  的概率在 80%~90% 之间。

### 2.2 试报检验

#### 2.2.1 总体评价

采用中国气象局业务部门的产量预报评分标准,对建立模型样本之外的 2001 年独立样本进行了试报检验。从各作物成熟前(1~3 旬内)最后一次预报的评分情况看,95 分以上(预报精度大于 93%)的模型占 58%,90

分以上(预报精度 $>90\%$ )占73%。有3个模型预报精度 $<80\%$ ,按规定属于失误。反查误差大的个例,大都是由于2001年产量突然明显下降或近几年连续下降以至于趋势产量项外推误差较大的缘故。

### 2.2.2 动态预报误差分析

不同起报时间得到的产量预报值反映至该时间为止已出现的气象条件及假定后期气象条件正常情况下所预期的作物最终产量。随着预报时间的后延,实际光、温、水气象条件陆续出现,预报值应逐渐接近实际值,预报误差变小。实际上,产量形成由很多因素所决定,而且预报效果除了主要取决于模型的预报能力之外,还与实际光、温、水气象条件出现的随机性及相互作用有关。因此,不同模型各时段预报误差在逐渐减小的过程中彼此有所不同。图1中有的模型明显地逐渐变小(广西晚稻、湖南早稻、河北棉花、辽宁玉米),有的则起伏变化(安徽小麦、河北玉米、黑龙江一季稻)。但总体上说,文中列举的上述模型各时段预报误差都在允许范围内。

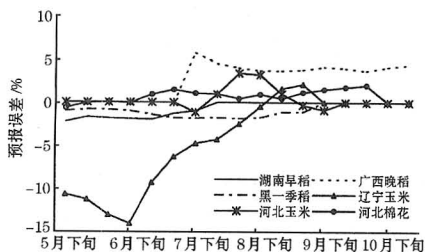


图1 2001年产量动态预报误差

### 2.2.3 模型对光温水因子影响的响应和集成结果分析

根据2001年6大作物各主产省在作物生育期内不同时段所估算的产量结果与国家气象中心农业气象业务部门对农作物生长气象条件实时监测结果(气候监测公报)的比较,可以看出预报的产量动态变化基本能够较好地反映出各个时段气象条件对产量的影响(见图2,以广西晚稻、辽宁玉米为例,其余图略)。

安徽冬小麦苗期阴雨寡照,1~2月降水偏多,3月到4月上旬拔节期内降水持续偏少,出现干旱,各旬降水要素预报的产量均

较低。反之,生育期内温度条件除4月中~下旬小麦灌浆期内温度偏高致使灌浆加快外均基本适宜。5月上旬起光温水条件适宜,集成预报值回升,接近实际值。5月上旬至下旬的预报误差分别为4.4%、3.8%和2.7%。

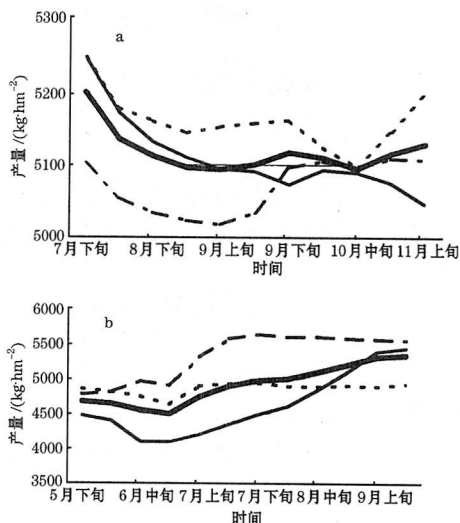


图2 2001年作物产量动态预报图

YT(细实线):由温度预报的产量;YP(虚线):由降水预报的产量;YS(点划线):由日照预报的产量;YY(粗实线):光温水集成预报产量

a. 广西晚稻 b. 辽宁玉米

湖南早稻生育期间除移栽至返青期有低温、阴雨寡照天气外,温度条件均较好,考虑温度的预报一直与实际产量比较接近。生育期内降水变化平稳,没有大涝大旱。光温水集成预报产量自6月上旬起一直很平稳,与实际产量比较接近。

广西晚稻2001年7月上旬~下旬的播种至插秧期光温适宜,秧苗生长良好。但8月上旬气温偏高,出现最高气温 $T_{\max} \geq 35^{\circ}\text{C}$ 的酷热天气,对秧苗返青不利;9月上旬水稻孕穗至抽穗期间出现大暴雨,水稻穗分化受到影响;9月中下旬气象条件转好,10月中旬~11月上旬的乳熟一成熟期间光温水条件适宜。由图2看出,7月下旬前期条件较好,估算的产量较高;8月上旬~9月上旬由温度、降水决定的产量明显下降;9月~10月上旬起产量变化平稳,接近实际值。估算的产

量动态变化与实际天气的影响及变化很接近。

黑龙江2001年初春有低温,4月中下旬转好,温度估算的一季稻产量逐渐升高。4~6月期间降水明显偏少,由6月上旬至7月中旬各旬降水估算的产量呈降低趋势。至7月中下旬降水增多,8~9月光温条件适宜,估算的产量渐升,与实际产量十分接近,偏差 $-1.8\% \sim 1\%$ 。

辽宁2001年入春至初夏降水持续偏少,5月上旬~6月降水偏少3~6成。图2可见从5月下旬至6月中、下旬估算的玉米产量持续下降。6月下旬~7月上旬玉米拔节期内出现明显降水,加之温度适宜,光温水对产量均呈正效应,6月下旬起估算的产量连续回升。9月上旬~9月下旬估算产量与最终实际产量分别相差 $-0.5\%$ 、 $1.67\%$ 和 $2.1\%$ 。

河北省2001年棉花播种至出苗期间出现强降温,出苗慢。其后温度适宜,由温度预报的产量逐渐上升;随即出现干旱,降水影响产量呈减少趋势。6月中下旬现蕾至开花阶段降水增加,降水模型预测的产量回升。此后花铃期热量、光照适宜,估算的产量逐旬上升。至10月上、中旬,预报值仅比实际偏大 $2.2\%$ 。

### 3 结论与讨论

本研究旨在探讨面向互联网的农业气象产量动态预报的可行性和解决方案。在未对各省实际产量做任何详细的分析和处理,也未进行气象产量的订正或特殊处理,同时各省气象资料也只是简单地以各作物在各省主产区的代表站平均作为该省气象要素值的情况下,得到上述总体统计检验结果、试报情况以及与实际气象因子对作物生长影响相对照的比较,其结果是比较理想的。表明面向Internet的农业气象产量动态预报有可能实现。

毋庸置疑,选择对产量形成有重要影响的关键期气候因子进行预报的通用方法是非常正确的。然而从另一方面看,作物生长发育和产量形成是一个光、温、水、土条件长期、

综合作用,生物量逐渐累积的过程,前后有一定的相关性和互补性。因此,利用积分回归方法,考虑全生育期光、温、水综合影响,根据已出现的天气实况,在假定后期天气条件正常的情况,有可能预测出未来产量的趋势。随着天气实况的逐一出现,后期的预报结果可望逐步接近实际值。至于以气候平均值代替的作法,实际上目前常用的选择生长前期特定时段特定因子的预报方法,也是建立在后期天气正常的假设下,根据前期气象因子与最终产量的回归统计关系而编制预报的。

本研究只是从方法上探讨针对因特网用户动态查询的需求进行产量预报的可行性。所尝试的动态产量预报的精度还有待于提高,也大有潜力。对于具体省或地县,要进一步考虑政策及一些突变因素,更好地模拟时间趋势产量,使分离的气象产量能更客观地揭示当地气象条件的影响。建立省级预报模型所用的气象因子在选择代表站时可考虑更好的方法如根据各站气象因子对省产量的相关大小确定等等。有可能的话应直接建立省内每个专区或县的预报模型。更重要的是,编制产量预报时还要考虑当地、当年的具体情况,特别是一些异常气候变化对产量的影响。同时还要进行必要的田间调查,才能得到更好的结果。至于究竟什么时候开始预报最好,恐怕与作物、地区,特别是当年的天气条件有关。

### 参考文献

- 1 王馥棠,李郁竹,王石立. 农业产量气象模拟与模型引论,北京:科学出版社,1999:1~12.
- 2 王叔同,张荣霞,张敏. 基于长时段非线性影响分析的冬小麦产量预报,应用气象学报,2000,11(3):377~381.
- 3 夏福华. 对冬小麦产量气象统计预报方法的认识与实践,山东气象,2001,21(2):25~26.
- 4 赵秀兰. 黑龙江粮食产量预报年景分析预测系统,黑龙江农业科学,2001(5):4~6.
- 5 甘一忠,刘流. 特征展开模糊推理模式在农作物产量预报中的应用,模糊系统与数学,2002,16(1):104~109.
- 6 魏淑秋. 农业气象统计,福州:福建科学技术出版社,1985:157~162.

# An Internet-orientated Dynamic Prediction Method of Crop Yield

Wang Shili   Ma Yuping   Liu Wenquan   Lin Rinuan   Zhuang Liwei

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

## Abstract

A crop yield prediction of Internet-oriented dynamical resolution was proposed the demand of Internet users on dynamic inquiring crop yield into consideration. The results show that it is possible to predict crop yield applying mathematics model based on real-time weather elements and average climatic value in rest period during the growing season, which consist of required temperature, sunshine and precipitation for crops growth. The predicted values tend to approach actual values with the appearance of real-time weather data. The statistical test and validation are acceptable.

**Key Words:** Internet   dynamic   crop yield prediction