

毛留喜, 吕厚荃. 国家级农业气象业务技术综述[J]. 气象, 2010, 36(7): 75-80.

# 国家级农业气象业务技术综述<sup>\* 1</sup>

毛留喜 吕厚荃

国家气象中心, 北京 100081

**提 要:** 国家级农业气象业务经过近 50 年的发展, 服务领域不断拓展, 已形成包括农业气象情报、作物产量预报、农业气象灾害监测预警与评估、生态气象监测评估、农用天气预报等系列服务, 其业务技术以指标为基础, 以遥感和 GIS 等技术为支撑, 发展了指标评判、统计分析预报、模型模拟、综合集成等技术, 满足了不同服务对象对业务的需求。未来农业气象业务将更加规范、精细、定量。

**关键词:** 农业气象情报, 作物产量预报, 农业气象灾害, 生态气象, 农用天气预报

## Overview of National Level Agrometeorological Operational Techniques

MAO Liuxi LV Houquan

National Meteorological Center, Beijing 100081

**Abstract:** In the recent 50 years, national-level agrometeorological operation is developed and its domain of service also constantly expanded. The series service is formed, which includes agrometeorological information, crop yield and output forecasting, agrometeorological disaster monitoring, warning and assessing, ecological meteorological monitoring and agricultural weather forecast. The operational techniques are based on indices and supported by remote sensing and GIS. The techniques of index discrimination, statistic analyses and prediction, model simulation and comprehensive integration etc. are developed, for meeting the demands of agrometeorological service. In the future, agrometeorological operation will be more conformed to the standard, and will be more accurate and quantitative.

**Key words:** agrometeorological information, forecast of crop yield, agrometeorological disaster, ecological meteorology, agricultural weather forecast

## 引 言

我国的农业气象业务最初诞生于中央气象台, 1958 年中央气象局研制发布的第一期《全国农业气象旬报》成为农业气象业务起始的标志。在中央气象台 60 年的发展历程中不仅见证了我国气象预报业务的发展, 也见证了农业气象业务的发展。

农业气象服务是专业气象服务领域中历史较长的业务之一。在 50 多年的发展历程中, 几经曲折,

从 20 世纪 50 年代后期至 60 年代初创起步、60 年代后期至 70 年代停滞、80 年代恢复发展、90 年代快速发展直到 21 世纪进入蓬勃发展阶段。2002 年中国气象局调整各内设机构业务布局, 农业气象业务从中国气象科学研究院调整到国家气象中心(中央气象台), 从此, 农业气象业务成为中央气象台气象业务的重要组成部分。近 10 年来, 农业气象业务在中央气象台的哺育下得到了前所未有的发展, 在“气象为农”服务中发挥着越来越重要的作用。

农业气象业务服务领域, 已由当年的农业气象

\* 公益性行业科研专项“精细化农业气候区划及其应用系统研究(GYHY200706007)”和“农用天气预报关键技术研究(GYHY200906021)”资助

2010 年 1 月 30 日收稿; 2010 年 6 月 25 日收修定稿

第一作者: 毛留喜, 主要从事生态与农业气象监测评估和农业气候资源开发利用研究. Email: maolx@ema.gov.cn

情报、国内作物产量预报,拓展到涵盖农业气象灾害监测预警评估、国外主要作物产量预报、生态气象监测评估、农用天气预报等多个领域。服务产品已由原有的全国农业气象旬(月)报、全国主要作物产量预报,发展到土壤墒情监测公报、农业干旱监测预报、国外粮食主产国粮食作物产量预报、灾害性转折性与重要农事季节的农用天气预报、作物主要病虫害发生发展气象等级预报、植被与草地生态监测评估、夏收夏种与秋收秋种等关键农时农业气象服务专报等 10 余种定常的服务产品。

农业气象业务技术的发展,以 20 世纪 80 年代初期研制的农业气象指标作为业务技术的重要基础,逐步发展起来的农业气象指标评判、统计分析预报、作物模拟等技术已在业务中得到广泛应用。随着遥感和 GIS 等技术在农业气象业务中的应用,使得农业气象业务技术得到提高,逐步实现多指标的综合集成、由点到面、从定性向定量转化。未来农业气象业务技术将根据社会需求不断发展与完善,以支撑多层次、多方位的业务服务。

## 1 农业气象情报

农业气象情报是在分析、鉴定过去和当前的天气气候条件对农业生产综合影响的基础上,进行客观描述,提出合理措施和建议的实时报导。农业气象情报业务的主要技术方法是统计方法为主,数值模型为辅;以指标定性评价为主,定量评价为辅。主要业务技术为作物气象指标分析法、生物学评价法、天气气候学分析法、遥感监测法等。

### 1.1 农业气象情报业务技术现状

环境气象条件是影响作物的生长发育的重要因素,根据光、温、水条件对作物生长发育影响的共性,建立通用的作物生长发育的气象影响指标,进行定性的判断;近年来定量评价技术得到逐步应用,按作物发育期的特点建立气象影响函数,作为作物生长季气象条件评价的依据。

热量条件是影响作物生长发育的重要因子之一,温度条件直接关系到光合速度的快慢,制约作物对光能的利用,衡量作物生长季热量条件的温度影响函数  $F(T)$ :

$$F(T) = \begin{cases} 0 & T < T_L \\ 1 - (T - T_0)^2 / (T_0 - T_L)^2 & T_L \leq T \leq T_0 \\ 1 - (T - T_0)^2 / (T_H - T_0)^2 & T_0 < T \leq T_H \\ 0 & T > T_H \end{cases} \quad (1)$$

式中  $T$  为某发育阶段的平均温度,  $T_L$ ,  $T_H$  和  $T_0$  分别为发育的下限、上限和最适温度。

太阳辐射是影响光合作用的直接影响因子,也是作物生长季中较为重要的限制因子之一。作物在光饱和点以下,随太阳辐射的增大,光合效率可进一步提高评价作物生长发育的辐射影响函数  $F(Q)$ :

$$F(Q) = \begin{cases} 1 & Q < Q_0 \\ Q/Q_0 & Q > Q_0 \end{cases} \quad (2)$$

式中  $Q$  为某生育期内的平均太阳辐射,  $Q_0$  为该发育期的适宜辐射量的下限。

作物在不同的生长发育阶段对水分的需求不同,水分过少会导致干旱,过多会产生渍涝灾害,作物的水分影响函数  $F(P)$  可用下式表达:

$$F(P)_B = \begin{cases} 1 - (P - W_0)^2 / (W_0 - W_L)^2, & W_L \leq P \leq W_0 \\ 1 - (P - W_0)^2 / (W_0 - W_H)^2, & W_0 < P \leq W_H \end{cases} \quad (3)$$

式中  $W_L$ ,  $W_H$  分别代表作物发育阶段的需求量下限和上限,  $P$  为阶段降水量,  $W_0$  为该发育阶段的适宜水分量。

温度、水分、光照是作物生长发育过程中主要气象要素,既是相互关联又相互制约的;但作物在不同生长发育阶段对每个气象要素需求有一定的差异,因而在温、光、水单要素评价模型基础上,通过单要素评价模型的加权组合,构成多要素综合评价模型。即:

$$I(T, P, Q) = \sum_{i=1}^n a_i [b_i F(T_i) \times c_i F(P_i) \times d_i F(Q_i)] \quad (4)$$

式中,  $I(T, P, Q)$  为气象综合影响评价指数;  $F(T)$ ,  $F(P)$ ,  $F(Q)$  分别为温度、水分、光照影响指数;  $i$  为作物发育期序号;  $a_i$  为第  $i$  发育期的权重系数;  $b_i$ ,  $c_i$ ,  $d_i$  分别为第  $i$  发育期温度、水分、光照影响函数的权重系数。

### 1.2 农业气象情报业务技术发展趋势

我国正处在由传统农业向高产、优质、高效、生态、安全的现代农业加快转变的关键时期,而现代农业具有科学化、集约化、商品化和产业化特点,因此,农业气象情报业务技术将发展方向将致力于解决服务的智能化、量化、精细化问题,重点将集中在作物机理性模型的构建,地面监测与遥感监测的耦合,地理信息技术应用等,提高现有农业气象情报产品的时效性、针对性与量化水平。

## 2 作物产量预报

天气气候条件是造成粮食作物产量波动的重要因素,同一区域不同年份单位面积作物产量的变化主要由气象条件差异引起的,气候环境因子在平均值附近的波动,往往造成产量的年际变化很大。因此,随着科技进步生产力水平不断提高,产量会呈现增长的趋势,作物产量可被分解为社会经济和生产力所决定的趋势产量和气象产量两部分:

$$Y = Y_t + Y_w \quad (5)$$

其中, $Y$ 为实际单产, $Y_t$ 为趋势产量, $Y_w$ 为气象产量。

由于生产力水平提高造成的产量变化是比较平缓、连续的过程,因此,在业务上通常采用2年间产量的增减百分率作为气象产量:

$$\Delta Y = \frac{Y_i - Y_{i-1}}{Y_{i-1}} \times 100\% \quad (6)$$

通过建立气象要素与作物气象产量间的关系模型以及生产力驱动的作物产量趋势模型可预报作物产量。

### 2.1 作物产量预报业务技术现状

统计学方法能较客观、定量地揭示各种随机变量之间的内部规律,反映出农业生产对象与环境气象条件之间的相关关系,是目前作物产量业务预报中应用较为广泛的方法。统计学方法主要有回归分析、相似分析、聚类分析、随机过程分析等,建立环境气象因子与作物产量关系模型以及作物产量趋势变化模型。例如相似聚类法是根据相同生产水平下,气候年型是决定作物产量丰歉的重要因素的原理,建立综合聚类指标,据此找出历史同期气象条件相似的年型来预测作物产量的丰歉。相似距离与综合聚类指标的计算方法如式(7)、式(8):

$$d_{ikj} = \sqrt{\sum (X_{ij} - X_{kj})^2} \quad (7)$$

$$C_{ikj} = \frac{r_{ikj}}{d_{ikj}} \times 100\% \quad (8)$$

式中, $d_{ikj}$ 为预报年 $k$ 与历史上第 $i$ 年第 $j$ 个因子的相似距离, $X_{ij}$ 为历史上第 $i$ 年以旬为时段的 $j$ 气象因子序列, $X_{kj}$ 为预报年的 $j$ 气象因子序列; $C_{ikj}$ 为预报年 $k$ 的 $j$ 气象因子序列与历史上第 $i$ 年的 $j$ 因子序列的综合聚类指标; $r_{ikj}$ 为预报年 $k$ 的 $j$ 气象因子序列与历史上第 $i$ 年的 $j$ 气象因子序列的相关系

数。 $C_{ikj}$ 越大,表示预报年与该历史年气象条件越相似。由于作物气象产量是多种气象要素的综合影响结果,须选择光温水三要素相似程度均较高的年型,得出综合预报结果。

此外,目前在业务中逐步得到应用的还有遥感综合法,主要通过利用空间遥感和地面遥感资料与作物的生长状况、植被的光合生产力等和产量之间的关系,根据反射光谱特性,获取农作物生长发育状况、种植面积等宏观信息,无需进行实物采样,在北方冬小麦产量预报方面得到应用。作物动力生长模拟预报是基于作物生长过程中的物质、能量平衡和转换原理,模拟作物产量形成和干物质积累的产量预报方法,与其他方法相比,其机理性较强,但其涉及的各种物理、生化过程的参数较多,获取困难,目前仍处于小范围试用阶段。

### 2.2 作物产量预报业务技术发展趋势

目前的作物产量预报模型仍以数理统计手段为主,机理性不足,因此,引进作物生长数值模拟技术,在传统统计方法的基础上,逐步发展可在业务中应用的面向作物生长过程、机理性较强的新一代农业气象数值模拟模型,增强农业气象服务能力,将成为作物产量预报业务发展的必然趋势。同时,随着遥感技术的日益发展,遥感在作物产量预报中的应用越来越广泛。再者,作物监测与定量评价技术的完善,为产量预报提供实时动态分析,作物产量预报动态化、区域化需要加强,准确率有待提高。

## 3 农业气象灾害监测预警评估

农业气象灾害种类繁多,发生时段、危害机理和指标均不相同。从灾害的发生机制看,农业干旱、渍害等属累积型;暴雨、大风、冰雹等属突发型;有些灾害造成的影响是显性的,在灾害发生后通过外在的形态特征可直观判断,如洪涝、大风、冰雹等;有些灾害是隐性,例如冷害、热害、寒露风等,受害症状的时间滞后。因此,对于不同的灾种,监测评估的方法差别较大。

### 3.1 农业气象灾害监测预警与评估业务技术现状

目前业务上采用的农业气象灾害监测评估方法主要为指标分析、田间调查、遥感监测;农业气象灾害预报主要采用统计、动力学方法、数值天气预报与

农业气象模式结合方法。一般采用与作物生长阶段关联具有生物学意义的指标与气象要素构成的灾害强度指标相结合的分析方法监测评估。遥感监测方法从作物受害的形态特征、灾害指标反演两方面进行,根据灾害特征与光谱间的关系,实现遥感手段监测大面积灾害的发生范围与程度,弥补地面观测站网因网格区域过大而丢失信息的缺陷,形成地面与空中、点与面结合的农业气象灾害综合评价方法。农业气象灾害预报是根据灾害的致灾因子自身周期规律以及气象条件或海温、大气环流等气候特征量之间的关系而进行预报的,例如东北作物低温冷害的长期预报就是以环流、海温等作为预报因子的。而对农业干旱、渍害等灾害则是根据气象因子驱动的水分运动过程,利用数值预报或气候模式输出结果与土壤水分动力模型进行预报的。对于病虫害等衍生的农业气象灾害预报主要根据气象条件与病虫害发生发展间的相关关系,建立病虫害发生发展气象指数,预报病虫害发展趋势。

对于复合型农业气象灾害,往往单指标存在一定局限性,不能真实反映灾害的发生情况,需要对多种指标综合分析,将各种指标集成综合判别指数:

$$I = \sum_{i=1}^n f_i \times \omega_i \quad (9)$$

其中  $I$  为灾害综合指数;  $f_i$  为不同种类的单指标;  $\omega_i$  为各指标权重系数,可采用层次分析方法确定。从全国层面来看,不同的区域气候、土壤、种植制度的差异明显,需要分区选取权重。目前,综合分析法已应用农业干旱监测业务,建立集卫星遥感指标、土壤墒情指标、作物水分亏缺指标、动态降水距平指标为一体的农业干旱综合监测模型,利用 GIS 技术进行合成,实现多种气象要素、遥感数据、土地利用信息的融合,形成空中、地面、地下三维空间的农业干旱监测。

### 3.2 农业气象灾害监测预警与评估业务技术发展趋势

一方面,农业气象灾害监测预警与评估业务正逐步趋于规范化、精细化、量化,灾害监测评估指标的日益完善和机理模型的引入,使灾害评估方法进一步统一,机理性增强,灾害损失的量化成为现实。随着 GIS 的深入应用与数值天气预报技术的进一步完善,农业气象灾害的监测预报更加细致。另一方面,根据农业生产的需要,农业气象灾害的预

警信号发布会更加完善、规范。

## 4 生态气象监测评估

气象条件作为生态系统最重要的组成部分之一,不仅决定着生态系统的组成、结构、格局和功能,同时也是短时间尺度上生态系统变化的最频繁最重要驱动力之一。生物生产力是生物及其群体甚至更大尺度(包括生态系统)上生命有机体的物质生产能力,它随环境不同而发生变化,因此它又成为生态环境变化和生态系统健康与否的指示物。

### 4.1 生态气象监测评估业务技术现状

植被净第一性生产力(NPP)是指绿色植物在单位时间内所累积的有机物数量,它较短时间尺度变化的主要驱动力是气象条件。NPP 反映了植物群落在自然条件下的生产力,是估算地球支持能力和评价陆地生态环境状况的一个重要标志。NPP 直接反映了植被群落在自然环境条件下的生产能力,表征陆地生态系统的质量状况。

基于 NPP 估算的生态气象监测评价模型,包括辐射、土壤水分、总第一性生产力、呼吸作用、净第一性生产力和监测评价指数 6 个子模型。首先通过辐射子模型计算到达地表的辐射平衡和光合有效辐射。将土壤质地、气象要素及由模型输出的地表辐射平衡输入土壤水分子模型,计算蒸发比。同时由月植被指数(NDVI)计算植被所吸收的光合有效辐射比例。然后将各子模型的输出结果,为总第一性生产力子模型的输入变量,计算月总第一性生产力。将植被类型、月平均气温和月总第一性生产力输入呼吸作用子模型计算月呼吸消耗量。由总第一性生产力和月呼吸消耗量计算月净第一性生产力。通过历年与当年月净第一性生产力的统计比较特征,构建生态气象优劣评价指数进行生态气象监测与评估。

这里生态气象监测评价指数模型是基于 NPP 的历史估算结果构建的:

$$EMI = \frac{NPP - \overline{NPP}}{\overline{NPP}} \times 100$$

$$EMI = \frac{NPP - \overline{NPP}}{\sigma_{NPP}} \times 100 \quad (10)$$

式中  $EMI$  称之为生态监测气象评价指数(简称生态气象指数);  $\overline{NPP}$  为植被第一性生产力的历年平

均值;  $\sigma_{npp}$  为植被第一性生产力的均方差。

根据 *EMI* 的历史统计规律确定的生态与环境气象监测评价指标,结合对典型地区的实地调查,把生态与环境分为“很好、较好、正常、较差、很差”5个评价等级。

#### 4.2 生态气象监测评估业务技术发展趋势

对生态与环境的监测和评价是一个涉及多学科的复杂问题。生态与环境气象监测评估,还是一个刚刚提出不久的新概念。这里所构建的模型和指标,仅是从一个侧面对生态环境的相对优劣进行的以气象条件为主要驱动因子的监测和评估。考虑更多因子,进行生态系统综合、全面的监测与评估,还有待进一步深入研究和应用检验。生态领域中气象业务的关键是,根据不同用户的需求,发挥气象优势,即以气象条件为主要驱动因子,研究生态监测预测与评估业务适用技术方法,引进或创建业务应用模型,开发业务技术系统(平台),从易到难、逐步丰富内容、不断提高科技含量和生态业务产品的影响力,力争满足“用户”的需要。

### 5 农用天气预报

农用天气预报是指针对农事活动和管理措施对天气条件的需要而开展的专业预报。农用天气预报与农业生产关系密切,预报项目和内容的针对性较强,是指导农业生产活动的不可缺少的科学依据之一。

#### 5.1 农用天气预报业务技术现状

农用天气预报是在天气预报、气候预测的基础上,对天气、气候预测预报产品在农业生产活动中的解释与应用。考虑当地农业生产对象、农事活动对天气条件的要求,以及这些天气条件对当地农业生产对象、农事活动可能产生的利弊影响,及时提供措施和建议,以充分利用有利天气,避免不利天气的影响。国家级农用天气预报以前期天气条件、作物发育期和中、长期天气预报为基础,预测未来作物发育期及期间的天气条件,紧扣作物生长发育和农事活动,预估未来关键农时季节天气条件的利弊及其影响程度;在 GIS 技术的支持下,制作未来农业生产管理措施(农事活动)趋利避害的区域图;最后通过各种平面与非平面媒体,发布业务服务产品到“用

户”,其业务流程如图 1。

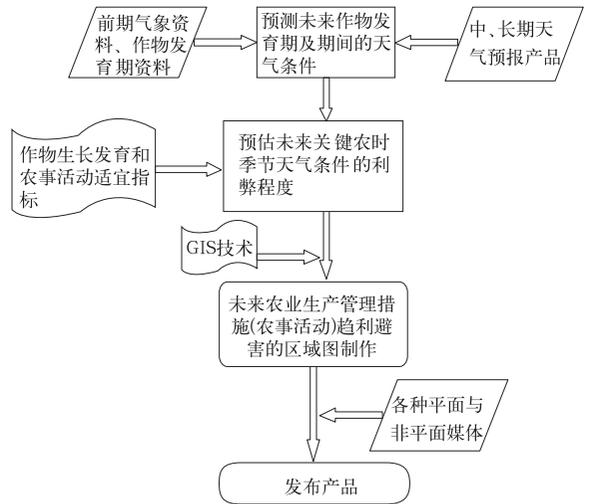


图1 农用天气预报技术流程

Fig.1 The technological process of agricultural weather forecast

目前国家级农用天气预报主要聚焦在主产区大宗粮食作物,如水稻、小麦、玉米等,关键农时和农事,如“三夏”(夏收、夏种、夏管)和“三秋”(秋收、秋种、秋管)等季节。结合已有的农业气象情报、预报等工作基础,建立主要作物生长发育期适宜指标库、关键期不利天气条件指标库等,建立相关的农事活动和不利天气条件应对措施库等专家知识库系统,建立专家知识推理机制,初步具备一定的农用天气预报业务能力。

#### 5.2 农用天气预报业务技术发展趋势

未来农用天气预报业务技术主要体现在“三个结合”上,即田间观测试验与指标、模型相结合,数理统计模型和作物生长模拟模型相结合,数值天气预报和农业气象模型相结合。通过观测试验,订正或建立作物和区域优势农产品重要农事活动和作物主要生育阶段的农业气象指标;利用数理统计模型和机理性作物生长模拟模型建立重要农事活动和作物主要生育阶段的气象影响适宜程度诊断指标;综合经验统计法和作物生长模拟模型建立作物主要发育期预报模型,开展覆盖农业全程的未来天气条件对重要农事活动和作物主要生育阶段适宜程度预报,从而帮助农业生产者根据未来天气条件,科学、合理地安排和管理农业生产,使我国农业逐渐由“靠天吃饭”向“看天管理”的模式转化。

## 6 结 语

国家级常用的农业气象业务技术是指标分析法、遥感监测法、统计分析与预报法、动力模型模拟法以及以 GIS 为基础的区域综合评估法等。随着社会需求的增长,农业气象服务的领域将不断拓展,已从专门为政府部门服务逐步转向为涉农企业、为农业服务,需要更加客观化、精细化、量化的业务技术,在技术研发方面多学科的交叉将更加突出,农业气象预报、农业气象灾害预警与数值天气预报的结合更加紧密;农业气象、生态气象监测评估技术中 GIS 和遥感技术应用将更加深入,对农业生产的指导性更强,将在新农村建设和农业的可持续发展中发挥更大的作用。

## 参考文献

- [1] 吕厚荃. 作物生长季农业气象条件评价方法研究见新世纪气象科技与大气科学发展—农业气象与生态环境[M]. 北京:气象出版社,2003:369-371.
- [2] 王建林,吕厚荃,张国平,等. 农业气象预报[M]. 北京:气象出版社,2005:1-125.
- [3] 霍治国,王石立. 农业和生物气象灾害[M]. 北京:气象出版社,2009:16-251.
- [4] 刘纪远,岳天祥,鞠洪波,等. 中国西部生态系统综合评估[M]. 北京:气象出版社,2006:112-120.
- [5] 李文华,赵景柱. 生态学研究回顾与展望[M]. 北京:气象出版社,2004:402-428.
- [6] Fled C B, Behrenfeld M J, Randerson J T, et al. Primary Productivity of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components[J]. Science, 1998, 281:237-240.
- [7] 毛留喜,侯英雨,钱拴,等. 气象条件驱动的生态与环境监测评估技术研究[M]. 中国生态与农业气象业务技术进展,北京:气象出版社,2007:37-45.
- [8] 戈登. B. 伯南,生态气候学 概念与应用(延晓冬,毛留喜等翻译)[M]. 北京:气象出版社,2009:286-366.
- [9] 毛留喜,钱拴,侯英雨,等. 2006 年夏季川渝高温干旱的生态气象监测与评估[J]. 气象,2007,33(3):83-88.
- [10] 毛留喜,李朝生,侯英雨,等. 2006 年上半年全国生态气象监测与评估研究[J]. 气象,2006,32(12):88-95.
- [11] 毛留喜,孙艳玲,延晓冬. 陆地生态系统碳循环模型研究概述[J]. 应用生态学报. 2006,17(11):2189-2195.
- [12] 朱文泉,潘耀忠,龙中华,等. 基于 GIS 和 RS 的区域陆地植被 NPP 估算——以中国内蒙古为例[J]. 遥感学报. 2005,9(3):300-307.
- [13] 孙睿,朱启疆. 陆地植被净第一性生产力的研究[J]. 应用生态学报,1999,10(6):757-760.
- [14] 朴世龙,方精云,郭庆华. 利用 CASA 模型估算我国植被净第一性生产力[J]. 植物生态学报. 2001,25(5):603-608.
- [15] 郝永萍,陈育峰,张兴有. 植被净初级生产力模型估算及其对气候变化的响应研究进展[J]. 地球科学进展. 1998,13(6):564-571.