

# 农业产量预报技术的研究和应用

尹 东

(中国气象局兰州干旱气象研究所,中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室,甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,兰州中心气象台,甘肃 兰州 730020)

**摘要:**对气象、农业生物、经济计量、作物生长动力模拟这几种农业产量预报技术方法在国内的研究和应用情况进行分析、总结和评价,论述各种方法的基本原理、适用情况和改进途径,提出综合性预报方法思路。

**关键词:**农业产量;预报;技术

**中图分类号:**S165+.27

**文献标识码:**A

## 引 言

随着社会发展,对农作物品种和产量的需求不断增加,但是在气候变化和极端天气事件增多的情况下,影响农业生产的很多因素也将具有更大的不确定性。我国加入世界贸易组织后面临着越来越多的农产品国际贸易问题,为更好地制定农业政策,采取合理的价格调控措施,发展农业生产和农产品贸易,农业产量预报工作的重要性将会越来越明显。从上世纪末开始,我国粮食生产曾出现过连续几年减产的情况,粮食安全问题引起普遍关注,从客观上增强了对农业产量预报技术方法的研究和改进的紧迫性,从而为政府和相关部门提供更为准确的农业生产决策信息。目前很多国家都以现代化的技术手段为基础,不断研究和发 展农业产量预报的新技术和方法,并及时应用到业务化的服务工作中,产生了良好的社会效益。以美国为例,每年投资8 000多万美元进行全球农作物估产,利用估产结果在世界粮食贸易中每年获益十几亿美元<sup>[1]</sup>。20世纪80年代初,我国的气象、农业、科研等部门开始应用数学模拟和遥感等现代化技术手段进行农业产量预报技术方法的研究和业务应用,经过多年的努力,现在已经形成多部门、多技术手段、多种作物、多时效并存的农业产量预报研究和业务服务格局,为各级政府部门提供了较为准确的农业产量预报信息<sup>[1-4]</sup>,为农产品的生产、储运、调配提供了及时、准

确的服务,在国家的宏观决策中发挥了重要作用。

目前已有的农业产量预报方法大体可以分为气象学方法(包括时间序列分析)、农业生物学方法、经济计量方法、作物生长动力模拟和卫星遥感监测,每一种方法根据技术手段和预报因子的不同,还可以做进一步的划分。

## 1 气象学方法

### 1.1 气象统计预测法

在以气象条件为主要预报因子的作物产量统计预测中,将社会经济和农业生产技术因素视为随时间保持相对平稳、逐渐上升的连续变化过程,反映了作物产量的长期变化趋势,而作物产量的年际波动主要受气象因素制约。因此在制作农作物产量预报时,重点考虑气象条件的影响。通常将作物产量的构成表示为: $y = y_t + y_w + y_e$ ,其中 $y_t$ 、 $y_w$ 、 $y_e$ 分别表示时间趋势(经济技术)产量、气象产量、随机产量。 $y_e$ 一般情况下忽略不计,但如何确定 $y_t$ ,并没有一种很理想、普适的计算方法。针对这一问题已做过很多研究<sup>[5-6]</sup>,基本上都是假定 $y_t$ 的变化比较平滑,然后用一些统计学方法对其曲线进行模拟。尽管此模拟方式存在不足,但因其形式简单明了、便于计算而广泛应用于目前的业务中。为了尽可能增强 $y_t$ 的经济和农业生产水平、技术含义,有一些研究考虑了各种农业生产要素(如有效灌溉面积、机耕面

收稿日期:2007-05-26;改回日期:2007-06-06

基金项目:甘肃省科技攻关计划项目(GS022-A45-149)资助

作者简介:尹东(1962-),男,正研级高级工程师,主要从事应用气象研究和业务。E-mail: lzyind@sina.com

积、农机总动力、化肥施用量等)与粮食产量的关系<sup>[3,7-8]</sup>,还考虑了产量的波动区间<sup>[9]</sup>,使 $y_t$ 的计算结果更加客观、合理。在实际应用中,计算趋势产量的很多统计学方法在每年重新计算时都要改变以往历年的趋势产量数值,这既不合理也影响了计算的准确性,采用一种指数平滑法能够避免这种现象的产生<sup>[7]</sup>。

$y_t$  确定后,可以按照  $y_w = y - y_t$  计算出受气象因素影响而产生的产量波动,将此波动再用统计学方法建立预报模型。为了使气象产量序列平稳化,消除建立产量预报方程时可能存在的不合理性,可以采用一种简单的根据增减产百分率序列的方法进行处理<sup>[10]</sup>。建立预报方程时,根据预报因子的不同分为 2 种情况,一种是预报因子中包含了制作预报时尚未出现的气象要素值,这些要素值要依靠短期气候预测结果。由于是在预测的基础上再进行预测,受短期气候预测准确率的影响,无疑会影响到农业产量的预测精度,因此现在实际业务中使用较少;较常用的是依据农业气象要素对农业生产过程作用的持续性(或称“惰性”,“后延性”)和农作物生长发育状况对外界气象条件反应的前后相关性<sup>[11]</sup>,根据已出现的实况气象因子进行产量预测,随着距收获期的接近,预测值会越来越接近实际产量。经过相关分析,既可以选择对作物生长和产量影响比较大的关键期气象因子,也可以选择长时段具有累积效应的气象因子<sup>[12]</sup>,既可以是线性因子,也可以是各种形式的非线性因子。也有直接使用大气环流高度场和特征量作为预报因子,这些因子通常反映了影响当地天气气候状况的主要环流特征,虽然预报因子的生物学意义无法解释得很清楚,但采用这一类因子的预报模型时效比较长,适用于距收获期较早时间的农业产量趋势预估<sup>[13]</sup>。

常用的气象产量统计模型有回归分析、判别分析、聚类分析等<sup>[5-6,11,14-16]</sup>,也可以直接对  $y_w$  进行平稳化处理后的时间序列进行分析<sup>[17]</sup>。模糊数学的很多方法都可用于作物产量预报<sup>[5-6,11,14-16]</sup>,可以通过选定影响作物产量高低的前期气象因子,应用特征展开模糊推理模式进行农作物产量长期趋势模糊推理预报<sup>[18]</sup>。

在气象统计产量预报中,有一种从能量学角度出发,对水稻、小麦生长期太阳辐射值、光能利用率、经济系数等进行分析,在能量转化过程的基础上用统计学方法建立农业产量预报模型<sup>[19-20]</sup>。它的推理过程和生物学意义明确,但必须要有农业气象

观测(作物观测)资料配合才能使用,而且也没有考虑各发育期气象因子的影响,这些都限制了这一方法在业务中的广泛应用。

随着各地农业结构调整步伐的加快,一些经济、特种作物以及果树的种植面积和产量都有所增加,这些作物及果树农产品经济效益相对较好,但市场价格变化也比较大,做好这一部分农产品产量预报,对发展地方农业经济具有越来越重要的指导意义。国内一些很有特色的研究成果,对柑桔、原料蔗、春茶、金丝小枣产量与气象要素的关系以及产量预报方法进行了非常有益的探讨<sup>[21-24]</sup>。考虑木本植物产量具有“大小年”特点,在产量构成上除了趋势产量、气象产量和随机产量以外,应当加上“大小年”产量,并且通过对柑桔产量预报方程的建立过程表明,“大小年”产量在产量波动中所占比例比较大,应当考虑这一部分产量的影响,据此提出的木本植物产量综合预报法具有较为坚实的生物学基础<sup>[21]</sup>。

## 1.2 时间序列分析

将统计学中的时间序列分析方法应用于农业产量序列,通过分析和计算得出农业产量预报结果,在实际业务中是一种常用的辅助性方法<sup>[5-6,11]</sup>。

用灰色系统模型能够直接预测农业产量<sup>[25-26]</sup>。如果将灰色预测和马尔柯夫链预测方法结合使用,可以在农作物产量预报中克服单独使用时 2 种方法各自的局限性,提高预报准确率<sup>[27]</sup>。同样也可以在建立定性和定量农业产量预报模型时,按照不同情况分别选用逐步回归周期分量和多层递阶预报模型,增强预报模型的实用性<sup>[28]</sup>。

近些年出现一些用新的数学方法研究农业产量序列及农业产量预报的成果,开阔了思路,增加了新的预报技术手段。例如以混沌理论为基础,对粮食单产时间序列用分形的方法进行研究,从吸引子维数、Kolomogorov 熵等方面分析了单位面积粮食产量变化的混沌性质,表明单位面积粮食产量的时序分布具有分形特征,且其变化是一个确定性的低维混沌吸引子,要恰当地描述单位面积粮食产量发生系统,需要构造包含 12 个状态变量的动力学系统<sup>[29]</sup>。还有一种将遗传算法 (Genetic Algorithm) 与误差反传 (Back Propagation) 网络结构模型相结合,在此基础上设计用遗传算法训练神经网络权重的新方法,通过对玉米的实际估产研究,与 BP 算法和灰色系统理论模型进行比较,并经过检验,计算值与实际值接近,并优于灰色理论模型,具有良好的预测效果<sup>[30]</sup>。

## 2 农业生物学方法

对于水稻、小麦、玉米这些粮食作物,根据单位面积株数和有效穗数、平均每穗粒数、千粒重(或单位重量粒数)这些产量构成要素估算出单位面积产量,这一类农学方法需要有一定样本数量的抽样调查,适用于较小区域范围的直接调查式的估产<sup>[5,16,31]</sup>。该方法比较直观、准确,但预测时效短。

在各种农业生物学方法中,值得一提的是由法国科学家皮埃尔·库尔教授用空气花粉浓度进行农业产量预报的方法,他认为果树及农作物收成的90%决定于开花期授粉的强度,在板栗开花期间,通过特制的花粉采集器收集空气中的花粉,经过处理和计算分析就可预报当年板栗的产量。为了尽可能早的发布预报结果,库尔教授将开花期早于板栗的栎属植物(柞木类)在空气中花粉的浓度与板栗产量的关系进行长期的比较分析,发现当年栎属植物花粉浓度与板栗产量具有反相关关系,这样就可以在4、5月份通过栎属植物花粉浓度对板栗产量提前半年做出预报。这一方法具有简便、经济、准确的优点,库尔教授对葡萄、玉米、小麦、水稻、油菜籽等作物的产量预报,误差均在5%以内,精度高于其它所有的预报方法,因此欧共体普遍采用这一方法,全欧洲共设立了60多个花粉采集站,同时运转,通过早期的产量预报,来决定葡萄酒的销售战略和农作物的进出口政策<sup>[32]</sup>。国内已经开展了一些类似的试验研究,黄赐璇等对小麦、玉米花期空气中花粉浓度与气象要素及最终产量的关系进行了很有意义的探讨,结果表明,在一般情况下,这些作物在花期的花粉浓度与产量是正相关关系,根据这一关系进行农业产量预报是可行的<sup>[33]</sup>。由许清海等进行的另一项试验研究表明,不同年份板栗花期有早有晚,大气中的花粉浓度变化悬殊;大气中板栗花粉浓度受花期气温和盛花末期前降水影响较大,受日照影响较小;盛花期花粉浓度与板栗产量的相关系数为0.998~0.999;根据2a相关关系建立的预报模式对第3年产量进行了预报,预报期比收获期提前2个月,预报结果最大误差5.7%,最小误差1.13%;多数误差均低于4%;运用花粉分析预报板栗和其它果品及农作物产量是一种投入少、预报期早、预报精度高的预测方法<sup>[34]</sup>。这一类利用作物花期花粉浓度进行产量预报的方法,本质上属于生物气候学的研究范畴,具有较为明显的优点和广阔的实际应用前景。由于作物与生态环境之间具有复杂的关系,

需要在大量试验的基础上总结出规律,逐渐增加估产的作物种类及其估产空间区域范围,最终建立合理的花粉采集点网,从而实现业务化运行。就目前国内状况而言,只是做了少量的试验研究,如果要想在实际业务中使用这一方法,还要做很多工作。

## 3 作物生长动力模拟

根据物理学和生物学规律,以动力学方法模拟作物的能量和物质转化过程,建立作物生长的动力学模型<sup>[35-36]</sup>,是农业气象、农业物理等多种相关学科持续不懈进行攻关的科学问题,现在仍然处在一种探索阶段,要想完全以这种方法开展实际的农业产量预报业务还有相当的距离。但是现在有一些与其它方法相结合的动力模型可以在实际业务中试用<sup>[37-38]</sup>。将遥感方法与动力模拟方法相结合估算水稻产量是一种常用的方法。它通过卫星遥感获得有效绿度模式,再通过绿度—叶面积关系式,估算水稻群体叶面积指数,根据水稻生物量分配规律以及环境条件对其的影响,估算水稻各器官的干重,取得了较好的效果<sup>[37]</sup>。有的研究成果在分析了遥感与动力模拟方法各自的局限性以后,提出了将作物生长发育及产量形成的数值模拟模型与作物遥感光谱模型相结合的综合估产方法,表明遥感技术必须辅之以农业气象数值模拟模型,才能更好地估产<sup>[38]</sup>。应用作物的生长模拟模型评估区域气象条件对作物生长发育及产量形成的影响<sup>[39]</sup>,是将作物模拟模型应用于农业气象业务的一种尝试,也是农业产量预报的基础工作,表明我国的作物生长模型研究也日益成熟,正从研究阶段逐渐向业务应用阶段转变<sup>[40]</sup>。

## 4 经济计量因子预测法

在粮食产量预测方法中,还有一种以社会政策、农业投入、农业技术等各种经济计量因子为主要预测因子的预测方法。在国内以陈锡康的“系统综合因素预测法”<sup>[2,41-44]</sup>为主要代表。与气象预测法有所不同,该方法认为社会政策、经济和农业生产技术因素不仅决定作物产量的长期趋势,而且是造成年际间作物产量波动的重要因素,特别是农业政策、价格等对中国农作物产量有重大影响。

该方法的基础建立在认为农业是一个典型的复杂系统,具有多层次结构,各个子系统之间以及系统与环境之间存在复杂的相互作用,具有很强的非线性、随机性和动态特征,所以必须综合地考虑社会经

济技术因子(如政策、价格、良种、化肥、灌溉、机械等,它们在中国粮食生产中起主要作用),兼顾考虑自然因素(如土壤、气候等)。在具体技术上是将投入占用产出技术、非线性预测方程和最小绝对和方法3者结合起来,在此基础上,建立多个预测方程和模型。应用该方法对全国粮食产量进行预测,在预测时效上比一部分的气象、遥感等方法提前,预测期距收获期提前半年,也就是在粮食作物播种后刚出苗的时候就可做出产量预报。

## 5 综合性的农业产量预报方法

为了发挥各种农业产量预报方法的优点,避免各自的不足,一些综合性的预报方法被提出,有的综合性方法已经在业务使用中体现出了优越性。中国科学院遥感应用研究所的“全国农情监测与估产的运行化遥感方法”,是以卫星遥感估算作物种植面积,以农业气象统计模式计算作物单位面积产量,最终获得作物总产量<sup>[1]</sup>。如果将作物种植面积估算和产量预报卫星遥感模型,辅以冬小麦产量农业气象预报模型、农学模型,则可以得到精度高、效果好的农业产量预报结果<sup>[42]</sup>。气象部门的农业气象作物产量预报,集成了气象模式(包括大气环流预报模式、海温预报模式、地面气象要素预报模式)、遥感预报模式、社会经济计量模式、农学模式等,也是一种多方法综合集成的农业产量预报业务系统<sup>[4]</sup>。对于多种农业产量预报模型的预报结果,可以采用类似于天气气候预报中的集合(集成)预报技术,用线性集成或主成分集成技术得出最终的综合性预报结论,非线性规划确定组合预测最优权系数是进行农业产量综合集成预报的实用方法之一<sup>[45]</sup>。

实际业务中可以考虑使用不同方法进行不同时效的农业产量预报。从气候变化对农业的影响,以及农业经济发展的长期走势对农业产量变化趋势进行预估,应用预报时效较长的一些预测方法在较早的时间内对当年主要农业产量进行预测,其它一些预测时效短的方法则可以随着收获期的临近逐步进行订正,直至收获前一个月最后完成当年的农业产量预报。

## 6 结 语

经过20多a的努力,我国在农业产量预报技术的研究和应用方面有了长足的进步,已经形成了具有自己特色的从国家、省、市(县)的研究和业务应用体系,为国家农业经济发展作出了贡献。在具体

的技术方法上,今后仍将向客观、定量、集成的方向发展,并且适应农业经济发展需求,增加预报种类。各相关部门应当在继续发挥各自优势开展农业产量预报工作的基础上,加强合作,互通信息,共享资源,通过学科交叉形成合力,将最新的技术成果及时应用到农业产量预报中,加快从科研转化到业务应用的速度,使我国的农业产量预报技术研究和应用在国际上保持先进水平。

### 参考文献:

- [1] 吴炳方. 全国农情监测与估产的运行化遥感方法[J]. 地理学报, 2000, 55(1): 25-35.
- [2] 陈锡康, 杨翠红. 投入占用产出技术在全国粮食产量预测及乡镇企业中的应用[J]. 中国科学基金, 2003(3): 149-152.
- [3] 王健林, 王宪彬, 太华杰. 中国粮食总产量预测方法研究[J]. 气象学报, 2000, 58(6): 738-744.
- [4] 钱控, 王健林. 农业气象作物产量预报的特点与思考[J]. 气象科技, 2003, 31(5): 257-261.
- [5] 刘树泽, 张宏铭, 蓝鸿弟. 作物产量预报方法[M]. 北京: 气象出版社, 1987.
- [6] 农业气象预报文集编审组(王馥棠等). 农业气象预报文集[C]. 北京: 气象出版社, 1983.
- [7] 尹东, 杨家宝. 甘肃省粮食产量年际波动特征分析[J]. 中国农业气象, 1998, 19(5): 8-12.
- [8] 周慧琴, 戴小笠, 唐红艳. 宁夏灌区粮食趋势产量预报方法的探讨[J]. 宁夏农林科技, 2001(4): 24-25.
- [9] 韩永翔, 尹东. 作物产量预报新方法研究[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(3): 124-127.
- [10] 夏福华. 对冬小麦产量气象统计预报方法的认识与实践[J]. 山东气象, 2001, 21(2): 25-26.
- [11] 冯定原. 农业气象预报和情报方法[M]. 北京: 气象出版社, 1988.
- [12] 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[J]. 应用气象学报, 2000, 11(3): 377-382.
- [13] 姚正兰. 北半球500 hPa高度场资料在产量预报中的应用[J]. 贵州气象, 1994, 18(3): 21-23.
- [14] 尹东, 费晓玲, 马胜萍. 甘肃省粮食产量气候年景评判方法[J]. 农业系统科学与综合研究, 2002, 18(3): 219-221.
- [15] 于梅, 祖世亨. 黑龙江省粮食产量滚动预报[J]. 黑龙江气象, 1998(2): 24-25.
- [16] 尚红敏. 几种冬小麦产量预报方法介绍[J]. 河南气象, 1998(1): 36-37.
- [17] 祁宦, 王颖, 王昉. 灰色—马尔柯夫链预测棉花产量[J]. 安徽农业科学, 2002, 30(1): 152-154.
- [18] 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[J]. 模糊系统与数学, 2002, 16(1): 104-108.
- [19] 王勤. 水稻产量预报的能量学模式—以都江堰市为例[J]. 中国农业气象, 1995, 16(3): 48-49.
- [20] 杨小利. 平凉冬小麦产量预报的能量学模式初探[J]. 甘肃气象, 1996, 14(4): 22-24.
- [21] 高阳华, 张成学, 易新民. 木本植物产量预报方法研究[J]. 中

- 国农业气象,1994,15(3):25-27.
- [22] 谭宗琨,吴全衍,符合. 原料蔗产量波动与气象条件关系及产量预报[J]. 中国农业气象,1995,16(3):50-53.
- [23] 汪春园,徐华安. 春茶谷雨前产量与时段气象因子的关系[J]. 中国农业气象,1998,19(3):20-22.
- [24] 李连起,赵明云,徐青文. 金丝小枣生长期气象条件的分析及其产量预报[J]. 贵州气象,1998,22(5):33-36.
- [25] 张树清,陈春,万恩璞. 灰色系统理论在估产中的应用[J]. 地理科学,1998,18(6):581-585.
- [26] 晏路明. 区域粮食总产量预测的灰色动态模型群[J]. 热带地理,2000,20(1):53-57.
- [27] 祁宦,王颖,王父. 灰色—马尔柯夫链预测棉花产量[J]. 安徽农业科学,2002,30(1):152-154.
- [28] 刘振忠,史永臣. 农作物产量预报模型研究与实践[J]. 生物数学学报,2001,16(2):229-233.
- [29] 徐梦洁,彭补拙. 江苏省粮食产量吸引子维数研究[J]. 人文地理,2001,16(3):53-56.
- [30] 李哲,张军涛. 人工神经网络与遗传算法相结合在作物估产中的应用[J]. 生态学报,2001,21(5):716-720.
- [31] 张雪芬,毛留喜,陈怀亮. 河南省夏玉米农学模式产量预报[J]. 河南气象,1996(2):22-23.
- [32] 路端正. 板栗产量半年早知道—库尔产量预报法简介[J]. 绿化与生活,1996(6):8.
- [33] 黄赐璇,梁玉莲,陈志清,等. 花粉通量与气象要素的关系及其在预报小麦、玉米产量上的前景[J]. 植物学报,1997,39(8):759-763.
- [34] 许清海,孟令尧,阳小兰,等. 应用花粉分析预报板栗产量的研究[J]. 植物生态学报,1999,23(4):370-378.
- [35] O. Д. 罗坚科(裘碧梧译). 农业生态系统的水—热状况和产量的数学模拟[M]. 北京:气象出版社,1985.
- [36] И. С. 沙季洛夫,А. Ф. 丘德诺夫斯基(刘树泽等译). 产量程序设计农业物理农业气象和农业技术原理[M]. 北京:气象出版社,1987.
- [37] 杨星卫,薛正平,陆贤. 水稻遥感动力估产模拟初探[J]. 环境遥感,1994,9(4):280-286.
- [38] 张建华. 作物估产的遥感—数值模拟方法[J]. 干旱区资源与环境,2000,14(2):82-86.
- [39] 马玉平,王石立,王馥棠. 作物模拟模型在农业气象业务应用中的研究初探[J]. 应用气象学报,2005,16(3):293-303.
- [40] 刘布春,刘文萍,梅旭荣,等. 我国农业气象业务引入作物生长模型的前景[J]. 气象,2006,32(16):10-15.
- [41] 陈锡康. 投入占用产出技术与全国粮食、棉花产量预测研究[J]. 科学决策,1995(3):29-32.
- [42] 陈锡康,杨翠红. 农业复杂巨系统的特点与全国粮食产量预测研究[J]. 系统工程理论与实践,2002(6):108-112.
- [43] 陈锡康,潘晓明. 从农作物产量预测看发展交叉科学研究的重要性[J]. 中国科学院院刊,2000(1):47-48.
- [44] 黄敬峰,王人潮,王秀珍,等. 冬小麦遥感估产多种模型研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),1999,25(5):519-523.
- [45] 赖格英. 组合预测最优权系数的非线性规划确定方法及其在农气预报上的应用[J]. 江西气象科技,1995(增刊):16-18.

## Research and Application of Agricultural Yield Forecast Technique in China

YIN Dong

( Institute of Arid Meteorology, CMA; Key Open Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of CMA; Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province; Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China )

**Abstract:** The research and application of several methods for agricultural yield forecast in China were summarized and assessed, including meteorology, agrobiolgy, econometrics and dynamic simulation for crop growth, etc. The principles, application conditions and improving approaches of those methods were discussed, and an idea of compositive forecast for agricultural yield was put forward.

**Key words:** agricultural yield; forecast; technique