

—农业气象预报方法

参 考 资 料

江苏省气象局编印

一九八()年四月

65.23

3482

编 者 的 话

农业气象工作是气象为农业服务的重要手段，是气象台站基本工作任务之一。而农业气象情报预报工作又是气象服务工作的重要组成部分。农业气象试验、物候观测和农业气候分析又为农业气象情报预报提供可靠的指标和依据。随着我国农业现代化的进展，对农业气象预报工作的需要将日益迫切。因此，希望各台站能够有重点有计划的逐步把农业气象预报工作开展起来。

目前国内外开展农业气象预报的内容极为广泛，归纳起来可分：农用天气、农气灾害、年景产量、主要生育期和病虫害等五种类型。上次翻印南京气象学院的农气预报讲义，各个方面都有所介绍。这次着重介绍年景产量农业气象预报这方面内容，供台站同志开展这方面工作时参考。

目 录

一、国外农业气象预报现状及其发展.....	(1)
二、试谈农业气象产量预报.....	(11)
三、从气候因子估算和模拟水稻产量.....	(24)
四、一个阶乘的小麦产量——天气模式.....	(32)
五、塔吉克斯坦皮棉地区平均产量与总产量的农业气象长期预报方法.....	(47)
六、北京地区冬小麦产量和气象要素的统计分析.....	(55)
七、法库县玉米低温冷害气候规律的初步分析.....	(67)
八、介绍几种多年作物产量资料的处理方法.....	(83)
九、应用数理统计编制农气预报的有关问题.....	(92)
十、农作物病虫气象预报意义与方法.....	(104)

国外农业气象预报现况及其发展

中央气象局气象科学研究所气象科技情报研究所

刘树泽 方来福

农业气象情报和预报服务工作是气象为农业服务的重要组成部分。国外有不少国家的气象部门都设有农业气象情报和预报服务机构,它们经常地向有关领导机关、农业部门和农业生产单位提供各种农业气象情报和预报服务。农业气象情报和预报已成为农业生产中必不可少的参考依据。每一份及时而准确的农业气象情报和预报都具有重要的经济价值。英国气象局梅森指出,如果所有气候咨询和天气预报都是准确的,并且为农业计划工作者和农场主充分利用,那么农业生产可以提高5%。他认为,气象情报的实际贡献绝不低于农业生产总值的1%。据苏联中亚区域水文气象中心报导,1976年农业气象情报和预报以及其他种类的农业气象服务的总经济收益为1220.6万卢布。下面就国外农业气象情报和预报工作现况和发展做一简单介绍。

(一) 农业气象情报服务

农业气象情报是农业气象为农业服务的主要内容之一,它和农业气象预报是相辅相成的,缺一不可。农业气象情报,为农业部门的领导和生产单位提供过去的和当前的农业气象条件状况及其对农作物和各种农业生产活动所产生的和将要产生的影响,为在农业生产中下一步采取什么样的农业技术措施提供参考依据。

综合国外开展农业气象情报服务的形式,主要有每日公报、候报、周报、旬报、月报、季报和年报等等,还有临时性的各种农业气象咨询情报服务。不管哪一种农业气象情报,都必须紧密地结合农业生产实际的需要,加强针对性,才能收到良好的效果。现以美国“每周天气和作物公报”为例,剖析一下国外在发布农业气象情报时,是如何满足农业生产上的需要的。

美国每周天气和作物公报是由美国气象局和农业部统计局联合主办的。已有107年的历史。这种周报的内容包括:一周的(1)全国降水量分布图;(2)全国天气总结;(3)全国平均温度距平图;(4)全国农业概要;(5)全国各站温度和降水一览表;(6)各州的天气和农业的概要;(7)世界天气和农业概要;(8)世界各大洲降水量和温度距平分布图等。它较详细地全面而清晰地给出美国各州过去一周的天气气候特点及其对农作物和农业生产的影响,清楚地给出过去一周农业生产的动态。现以1975年9月23日出版的一份周报

为例,看看是如何编写的。如对密西西比州:该州北部和中部地区气温距平低于常年 5—10°F,南部低 3—5°F。最高温度为 93—43°F。日最大降水量为 3.78 英寸,17 日出现在贝、斯普林。土壤湿度十分充足。有 3.9 天适宜于农田作业。

棉花:41%裂铃,同期多年平均裂铃数为 35%;已收获 1%,同期多年平均收获量为 6%。

大豆:57%的叶子变黄,1974 年为 27%;28%叶子脱落,1974 年为 14%;8%成熟,1974 年为 11%,常年为 16%;1%收割,1974 年为 3%,常年为 4%。

玉米:77%成熟,常年为 81%;收获 16%,1974 年为 27%,常年为 17%。

高粱:68%成熟,34%收获。

水稻:64%成熟,1974 年为 53%;收割 18%,1974 年为 13%;

小麦:播种 13%,燕麦播种 14%。

甘薯 43%、花生 49%、干草作物 78%、青贮玉米 85%和青贮高粱 72%均已收割。

这是美国本国天气气候特征和农业生产动态,此外还有世界各大洲的农业气候特征资料。周报除文字部分外,还有图表资料。从这样的周报便可清清楚楚地了解和掌握过去一周天气气候条件如何,对农作物生长和农业生产有哪些有利的影响,有哪些不利的条件。因此根据过去一周的天气气候条件今后应采取哪些农业技术措施就有了科学依据这种周报是很有农业价值的,受到人们的欢迎。

(二) 农业气象预报

农业气象预报是农业气象服务的主要内容。目前苏联、日本、美国、加拿大、西德、东德、挪威、捷克、保加利亚、波兰、印度、伊朗、以色列以及非洲一些国家都先后程度不等地开展了农业气象预报业务工作。从农业气象预报种类来看,大体有发育期预报、病虫害发生发展预报、土壤水分预报、水份保证率和热量保证率预报、农事活动起止日期预报、施肥和灌溉量预报以及产品的数量、质量预报等等。

1. 发育期预报或称物候期预报。各种农作物(也包括果树等多年生植物)的发育期预报是最基本的农业气象预报项目。因为任何一种农业气象预报本身,都包含有作物发育期开始日期的预报内容,因此,各国都发布发育期的预报,对作物各主要发育期与外界气象条件的关系进行了大量的研究,得出许多两者之间的预报关系式。

例如日本不仅编制农作物的发育期的预报,而且还编制各种多年生植物的发育期预报。日本中原等人通过大量的分析研究得出了有关地区的梅子、梨子、桃子、苹果等果树开花日期的预报公式,列下表:

果树名称	关系式	x、y 说明	地点
梅子	$y = 55.26 - 0.64x$	y 3 月 1 日算为 1 x 为 3 月上旬—4 月上旬平均气温总和	须坂 (长野县)
梨	$y = 62.64 - 0.68x$	y 4 月 1 日为 1	同上

桃	$y = 60.05 - 0.68x$	x 为 3 月中旬—4 月 中旬旬平均气温总和	
	$y = 41.41 - 0.83x$	y、x 均同上	
平 果		y 同上	
		x 为 2 月下旬—4 月 上旬旬平均气温总和	平 冢 (神奈川县)
	$y = 39.78 - 3.29X$	y 5 月 1 日为 1	
		x 为 4 月上旬—5 月 中旬平均最高气温超 过 10 度的合计值	黑 石 (青森县)
柑 桔	$y = 131.39 - 8.52x$	y 同上	
		x 为 4 月的最高最低 温度平均值	兴 津 (静冈县)

· 再如苏联中亚区域水文气象中心不仅编制棉花开花期预报,还作第一批棉铃裂铃日期预报、铃数预报。开花(一般包括 3—4 个播期)预报准确率为 85—99%,允许误差 ± 5 天;第一批棉铃裂期预报准确率为 75—85%,允许误差 ± 7 天;棉铃数预报准确率为 80—85%,允许误差 ± 2 个(单株)。此外还根据当地农业生产的需要发布牧草发育期预报、果树和桑树发育期预报以及各谷类作物发育期预报等。

苏联各地做发育期预报所使用的方法,有的用活动积温,有的用有效积温,其中以后者居多。这个方法是从各种农作物进入某一个发育期所需要的有效积温为一常数的原理出发的,结合当前农作物生长状态和中、长期天气预报而作成的。因此,编制各种作物(包括果树等)发育期预报时,必须具备作物前一发育期的日期、下一个发育期的起点温度、有效积温(或活动积温)指标,以及未来的平均气温预报资料。通用的发育期预报公式:

$$D = D_1 + \frac{A}{t - B}$$

式中, D 为预报的发育期开始日期;

D_1 为实测的前一发育期的开始日期;

A 为前一发育期——下一发育期所需要的有效积温;

t 为预报的平均气温;

B 为生物学下限温度

2. 各种农事活动起止日期等预报。随着农业技术现代化水平的不断提高以及农业耕作制度的改革,各种农事活动的起止日期等项预报,显得愈来愈重要了。如播种期和收割期预报、施肥日期和施肥数量的预报、灌溉日期和灌溉量的预报等等。不过也有人认为象播种期和收割期预报没有多大价值。不报,农民也知道什么时候种,什么时候收。须知,各地的天气气候条件不是固定不变的,因此,根据每年具体的天气气候条件,及时准确地发布播期和收期等农事活动的农业气象预报是十分必要的。国外经验证明,在确定播种日期和施肥时间时,如能精确地考虑到气象条件的话,可增产 15—25%。

农业机械的运行, 同样也与气象条件有着密切关系。如日本根据对农业机械运行的实地调查得出, 雨后大型农业机械运行情况如下表:

各类土壤大型农业机械雨后运行比例表(%)

土 壤 种 类	运 行 状 况	降 雨 量 (毫米)	雨 后 日 数					
			0	1	2	4	6	8
重 黑 钙 土	容 易	小于10 10~20 大于20	17	27 0	40 0 0	25 0	50 25	50
	困 难	小于10 10~20 大于20	8	9	10 25	25 25	25 25	25
	不 可 能	小于10 10~20 大于20	75	64 100	50 75 100	50 75	25 50	25
黑 钙 土	容 易	小于10 10~20 大于20	33	54 40	79 64 46	69 69	82 72	92
	困 难	小于10 10~20 大于20	27	3 20	7 0 23	16 0	18 15	0
	不 可 能	小于10 10~20 大于20	40	23 40	14 36 31	15 31	0 16	8
栗 钙 土	容 易	小于10 10~20 大于20	33	75 0	100 75 0	75 50	100 50	100
	困 难	大于10 10~20 大于20	67	25 33	0 0 33	25 0	0 50	0
	不 可 能	小于10 10~20 大于20	0	0 67	0 25 67	0 50	0 0	0

英国气象局为了适应农业生产各业不同时期的需要, 如畜牧业、牛奶业、种植业、园艺业的各不相同的需要, 开展了所谓农业专业性的天气预报服务。如冬季为整地做冻土预报; 2—3月为牛奶业饲养仔牛做夜间温度预报; 3—5月为施肥和灭虫发布昼夜温度预报; 5—8月为晒草和切草做日照时数预报; 3—8月为园艺业喷洒农药做风的预报; 7—9月为收割谷类作物和牧草发布温度预报等等。

美国对果树特别是柑桔发布低温警报和预报, 为林业火险控制人员发布森林火险天气预报, 棉区收棉时节发布空气湿度和露水及其持续时间的预报等等。朝鲜春季做冻土融化30厘米的日期、土壤湿度和水田水温预报。

霜冻对农业生产影响很大, 国外已普遍开展霜冻预报。世界气象组织1978年对美、日、加、法、阿根廷、澳大利亚、希腊、新西兰、瑞士、葡萄牙、约旦、赞比亚和以色列等国的霜冻预报方法和防御措施做了系统总结。该组织于1977年11月在苏塔什干召开的亚

洲区协农业气象教育座谈会上关于霜冻预报方法及其防御方法也作了专题讲座。

3. 产量预报。

1. 近10—20年来。国外关于作物产量预报方法的研究进展较快,并且有不少国家开展了产量业务预报工作。众所周知,影响作物产量的因素很多,如:天气气候条件、农业栽培技术、土壤条件、农作物生物学特性等等。但是根据国外研究表明,在一定的农业栽培技术水平下,作物产量的波动主要取决于该地区的天气气候条件。因此研究作物产量与主要气象因子之间的定量关系,就成为开展作物产量预报工作的前提条件。作物产量与其决定因子间的定量关系是各种产量预报方法的基础。从国外的研究成果来看,目前多数国家还是用数理统计方法进行的,也用相关分析法或回归分析法。最初是用一个或两个因子(主要是降水和温度)与产量组成一元或二元线性关系式,逐步发展到与两个以上的预报因子的多元曲线回归、对数回归、积分回归、逐步回归筛选等比较复杂的关系。这些方法都可使用,不过实践证明,关键在于预报因子的选择。预报因子的筛选目前在天气预报工作中都还是一个研究得很不成熟的问题。在作物产量预报中,预报因子很多,任何一种统计方法均需解决它本身的筛选问题,才会富有生命力。必须根据当地的天气气候条件和每一作物的具体特征,选择出决定产量的主要的农业气象因子。加拿大G.D.威廉斯等人根据降水资料研究了加拿大春小麦产量预报方法得出,春小麦的产量与土壤水分的关系比与降水的关系更为密切,因此,他们先根据降水估算土壤湿度,然后再依照相应的回归方程估计每州最大可能的产量。著名农业气象学家w. 贝尔等人研究加拿大春小麦产量与土壤水分、降水、最高和最低温度的关系时,同样得出,春小麦的产量与土壤湿度关系最密切($r=0.84$)。用的是复线性回归方程。

除了降水、温度等因子外,日本农业气象学家还考虑了日照时数,太阳辐射等因子。如羽生、内岛等人研究出,水稻产量公式:

$$y = S[4.14 - 0.13(21.4 - t^2)]$$

y 为产量(公斤/10公亩); S —抽穗后40天的日照总时数; t 为此时期的平均气温。

宗方提出谷类作物产量预报方程:

$$y = L A_v \frac{N}{N + 50000} \frac{S}{S + 500} F(L, B, T)$$

式中: y 为产量(克/平方米);

N 为一平米上的小穗数;

S 为抽穗期后30天的平均太阳辐射(卡/厘米²日);

$F(L, B, T)$ 为同期内与茎重、叶重和平均气温有关的变量;

L 为系数;

A_v 为常数。

日本8个地区的农业试验站都进行水稻产量预报方法的研究。

苏联农业气象学者认为,由于农业气象预报中,考虑了惰性因子(一米土层有效含水量、植株状态、一平方米上的株数、株高、穗中小穗数、积雪厚度等,这些因子不仅能够影响作物当前的生长状况,还会影响到未来的状况)因此,一般说来农业气象预报准确率比

天气预报准确率要高。

(2)上面介绍了数理统计方法。现在谈一下最近几年发展起来的天气学产量预报方法。近年来,苏联、美国、日本等国农业气象学家,都开始从大范围的大气环流宏观特征探求估算产量的方法。

美国密苏里州大学大气科学部和美国国家海洋大气局气候环境鉴定中心,从大气环流宏观特点对气候和天气条件的形成有决定性意义这一假定出发,1978年提出一个用大气环流做美国大平原、加拿大萨斯喀彻温省和苏联乌克兰与北高加索小麦产量预报模式。大气环流特点用上述三国主要产麦区各40个站的逐月平均海平面气压表示,并作为线性回归模式的预报指标。气压值是根据自然正交函数原理用分析气象要素场的办法获得的。用这一方法估算结果与美国农业部和加拿大政府公布的实产相比,1975和1976年的误差均不超过2公担/公顷。(大约相当于每亩27斤)

苏联实验气象研究所E. A. 阿克沙林娃等人于1976年和1978年分别提出根据北半球大气环流特征估算苏联哈萨克斯坦地区春小麦和美国玉米产量的预报方法。使用的资料,美国是1948—1974年玉米产量资料,苏联是1945年—1970年春小麦产量资料。假设把趋势产量距平保证率小于20%(趋势产量为100%)定为丰年,大于80%定为欠年,那么分析美国玉米丰年和欠年5—9月的大气环流指数(按卡茨分型法)表明,丰年7—9月的环流指数,多数情况下低于平均值(1954—1974年),而欠年略高于平均值。不论是在丰年还是欠年,其环流指数都有接近于平均值的情况。因此就很难用这一指标估计未来的产量。但是从环流特征分析看,丰年7—8月的环流特征是:北美上空有一个与极涡中心相连的高空槽,槽线位于60—100°W,在这种气压系统的影响下,500毫巴图上大部分地区都是负距平。在北极区的美州或格陵兰一侧或北美大陆为最强的负距平中心或相差不超过2个位势什米的次强中心。在这种环流形势下,强冷空气遍及北美南部。在北来的冷空气与暖性海洋气团相互作用下就会形成大量降水,在有充分热量保证的情况下,便形成了玉米高产的有利水分条件。9月份的环流形势与7—8月不大相同,即径向环流减弱,500毫巴图上为正距平,北来冷空气大为减少,这对减少玉米霜冻危害极为重要。

欠年的环流条件,在某种程度上可以说正好与丰年相反。

阿克沙林娃按北半球大气环流特征鉴定美国玉米产量形成条件的评分标准是:

盛行大气环流特征	评 分
7—8月	
(1) 有一槽伸向美国(40—45°N, 80—100°W), 其槽线在60—100°W地区内穿过40°N线	10
(2) 上述低压槽,与一个极涡中心相连	10
(3) 研究地区为纬向输送	5
(4) 在一极涡范围内同时有一低压槽,槽伸至美国, 在500毫巴图上为负距平	10
(5) 北极美州或格陵兰一侧为正距平	- 5

- (6) 北美大部分地区(包括美国)500毫巴图上为正距平 10
- (7) 在500毫巴图上美国和北美大部分地区处在负距平区内,负距平中心 ≥ 10 位势什米,该中心与一个极涡中心相连或与一个伸向南或东南的槽相连 — 5

作者认为用这种指标和评定等级鉴定美国玉米产量条件是完全可以的,是相当客观的,它精确地分出了高产年(7—9月环流特征总评分数为100—130)、平年(为70—85)和低产年(50—65)。

用1976年的资料对此法进行了检验,分析北半球7—9月环流条件证明,1976年应列为高产年,因7—9月环流特征总评分数为100,估计美国玉米平均产量为60公担/公顷。结果预报正确。

对比美国玉米最高最低产量和苏哈萨克斯坦春小麦最高最低产量年的环流特征,可以得出一些共同特点,尽管作物和地区都不同。其共同特点是两地丰年和欠年的主要生长季内都是径向环流盛行。其中当从极涡伸展出来的深槽占优势时,为高产创造了有利条件,而强大的高压脊,则造成低产。

日本M.田中也试图通过大气环流特征探索亚洲一些国家水稻产量的年变化规律。田中研究的结果表明,亚洲季风区许多国家的水稻产量与降水存在着很好的对应关系。而降水的增、减又与环流条件密切相关。当太平洋付高增强西伸并在琉球群岛加强时,恒河流域、缅甸、泰国和九州西北部多雨,而菲律宾的降雨趋于减少。这一形势与印度季风雨和梅雨的环流形势近似。研究证明,7—8月热带辐合带对雨量的分布起着主要作用,喜马拉雅山东南侧的热带辐合带是影响西南季风变动的主导因子,而位于巴基斯坦的热低压是支配季风雨的次要因素。通常6—8月间若有2个月季风指数低于常年,则将导致南亚和东南亚各国欠收。

(3)模式法。随着毗邻学科的迅速发展、电子计算机的广泛应用和科学实验手段的改进,近十多年来美、苏、加以及欧洲有些国家积极开展天气气候与作物产量间的数值模式的研究。模式按其实质,可分为两种:一种叫做主要模式或称基础模式,它反应作物产量的各个具体生理过程与气象条件的定量关系。诸如光合作用是产量形成的基础,光是作物进行光合作用制造有机质的唯一能源,搞清两者的关系,进行数学模拟,建立光合作用——光强模式;以及风与 CO_2 在作物层中的扩散模式;光强与土壤水分和气孔阻力模式等等,这些都属基础模式。把这些模式有机地结合起来,建立起光合作用——气象模式,呼吸作用——气象模式,同化物质——气象模式等,均属于次级模式或称亚模式。有了这些亚模式,才能最后地建立起作物产量——天气模式。有的国家在开展精确地模拟各种气象参数对作物影响的试验和大规模的作物群体动力学模拟研究时,以能量平衡为基础,引进了太阳高度角、直接和散射辐射、气温、风速、垂直扩散、 CO_2 浓度、空气湿度、土壤温度和湿度、土壤 CO_2 的释放等大量参数,研究建立起土壤——作物——气象综合模式。

目前，已建立起群体动力模式的国家有：荷兰、美国、加拿大、英国、澳大利亚、苏联等国。

动力模式通用模式方程均写成差分方程：

$$\begin{aligned}y_1^{j+1} &= y_1^j + \psi_1(Y^j, X^j, A^j) \\y_2^{j+1} &= y_2^j + \psi_2(Y^j, X^j, A^j) \\&\dots\dots\dots \\&\dots\dots\dots \\&\dots\dots\dots \\y_p^{j+1} &= y_p^j + \psi_p(Y^j, X^j, A^j)\end{aligned}$$

式中 $Y^* = (y_1, y_2, \dots, y_p)$ ——作物变量（生物质、叶子、茎秆、根、穗中小数、叶面积等）

$X^* = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ ——环境变量。

$A^* = (a_1, a_2, \dots, a_k)$ ——模式中应该估算的参数向量；

$j, j+1$ 分别表示当前和未来的时距。

除动力模式外，还有两类模式：一种叫做仿生学模式，二叫做动力统计模式。所谓仿生学模式就是把气象变量、环境因子与作物生长发育和产量各参数有机地结合起来。加拿大著名农气专家建立的作物——天气分析模式就属此类。作物、天气分析模式的基本方程是：

$$y = \sum_{t=0}^{t=m} V_1, V_2, V_3, \dots \quad (1)$$

式中 y 为产量（公担/公顷）

$\sum_{t=0}^{t=m}$ 是按罗伯逊所提出的生物气象时从 $t=0$ 到 $t=m$ 的每 V 值总和，其中 0 为播种， 1

为出苗， 2 为抽穗， 4 为灌浆， 5 为成熟。中间值按这些生物气象时间的二分之一表示。

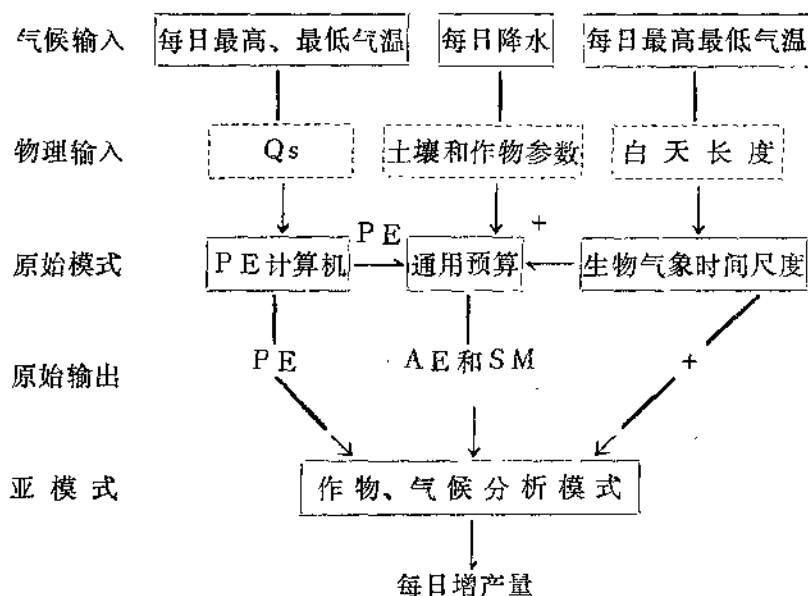
V_1, V_2, V_3 为所选择的“自”变量的函数。每一 V 值的函数式：

$$\begin{aligned}V = & (u_1 t + u_2 t^2 + u_3 t^3 + u_4 t^4) + (u_5 t + u_6 t^2 + u_7 t^3 + u_8 t^4) x \\& + (u_9 t + u_{10} t^2 + u_{11} t^3 + u_{12} t^4) x^2 \dots \dots \dots (2)\end{aligned}$$

式中 $u_1, u_2, \dots, u_{12}$ 是用迭代回归分析求得的每一 V 值的系数；

V_1, V_2, V_3 项中的 x 代表本程序控制选择的任一变量；即最高和最低气温、作物根部有效含水量 (SM)、相对水份的供/求，即实际蒸散量/可能蒸散量 (AE/PE)、太阳总辐射 (卡/厘米²·日) (Q_s)

作物——天气分析模式输入输出示意图



虽然上述各类模式都还有待进一步研究和提高，但是建立起作物——气象模式，无论对发展农业气象科学，加深农业气象科学的理论基础或在农业生产上都具有重要的意义。因为模式能较正确、全面地反映作物与气象的关系，所以它应该能够应用于比较广大的地区。只要有所需要的气象资料，就能够根据某种作物——气象模式，借助电子计算机，查明不同地区种植这种作物有哪些有利条件，有什么不利因素，估计它的生育进程和最终产量高低，这就可以为这种作物的合理布局提供科学依据，还能够提出不同地区种植这种作物应着重克服哪些不利条件，为农业基本建设和栽培管理措施提供参考性的建议。

(三) 几点看法

综合国外农业气象情报和预报的发展可以看出：

1. 农业气象情报和预报工作是整个农业气象工作的重要组成部分，是十分重要的，具有巨大的经济价值。农业气象情报和预报服务已成为科学地管理农业生产不可缺少的参考依据。因此，那种认为有了天气预报，就不需农业气象预报的观点以及那种象播种期等农业气象预报没有多大价值的观点都是片面的。今后应切实地把农业气象情报和预报的服务工作开展起来，为实现农业现代化做贡献！

2. 建立和健全农业气象观测网，加强农业气象资料的收集和加工整理工作，为开展服务和科研工作提供所必需的资料。其中也包括自然物候观测资料的系统收集和整理。苏 ϕ 、 ϕ 。达维塔雅认为，如果物候资料在时间序列上比较平稳的话，那么用它做预报，准确率可超过天气预报准确率。他还强调应重视自然物候观测资料的积累和整理，应象气象观测那样进行自然物候观测，因为植物和动物在某种意义上它是已形成的环境条件的“积

分仪”，又是未来天气变化的“预报器”。我国湖南黔阳农气站的经验也证明自然物候观测资料的重要性；

3. 提高情报和预报服务的针对性，加强各类和各种时效的农业气象预报方法的研究，特别是长期农业气象预报方法的研究。研究作物生长、发育和产量与气象条件间的定量关系，这是农业气象预报的基础；加强植被层中的微气象的研究，探明其能量、热量和物质交换规律，建立起天气——作物，乃至天气——土壤——作物综合模式，是发展农业气象科学的理论基础。

4. 发展多种方法，提高预报准确率。虽然国外产量预报方法仍以统计方法为主。但是近年来国外也试图从其他途径改进和提高农业气象预报准确率。美、苏、日等国从环流背景来探讨产量预报方法就是明显的例证。经验证明，根据环流特征研究产量预报方法是切实可行的。如前所述，美国这种产量预报方法准确率很高。

5. 加强农业气象科学试验研究的现代化实验手段的建设，发展飞机航测技术和卫星探测技术。建立现代化的人工气候室。缩短研究周期，快出成果。国外经验证明，随着新的科学实验手段的利用，必将导致科学研究工作的新飞跃。

6. 从国外的农业气象科学研究的经验教训证明，今后必须大力加强气象部门和农业部门的密切协作，才能使我国的农业气象科学迅速发展，赶上和超过世界先进水平！

试谈农业气象产量预报*

沈阳农学院 农业气象专业

一、农业气象产量预报及其意义

农作物是有生命的有机体,栽培作物必须有与之相适应的环境条件,才能获得高产。气象条件是重要的环境条件,光、热、水等气象条件对作物生长发育和产量影响很大。虽然随着农业生产的发展,生产条件起了很大变化,农业栽培技术有了很大进步,但是人们控制和改变异常气象对粮食生产不良影响的能力还是很有限的。在生产条件和栽培管理水平相对稳定和基本一致的情况下,作物产量的高低主要决定于生长期内的气象条件。由于“气象异常”往往还会造成作物产量大范围大幅度波动。因此,我们在分析研究作物生育和产量与气象条件数量关系的基础上,是可以根据农业气象条件来预测一个地区农作物产量的。这种产量预报就是农业气象产量预报。农业气象产量预报就其实质来说并不是真正的产量预报。因为作物产量不仅仅决定于气象条件,而且还决定于农业技术水平、土壤肥力、肥料施用的数量和质量、受病虫害危害的程度等许多因素。这一点在使用农业气象产量预报时是必须予以注意的。

农业气象产量预报是农业气象预报的一种重要形式,是气象为国民经济建设服务特别是为农业服务的重要手段。及时、准确地发布农业气象产量预报,可为国家计划部门制定进出口计划,调整国民经济的发展计划,采取必要的经济措施提供依据。随着农业现代化建设的迅速发展,农业生产的专业化、社会化程度不断提高、要最合理地使用农业产品,组织粮食调运、贮藏和加工、满足国民经济建设和人民生活的需要,都要求有关部门积极开展农业气象产量预报服务工作。

此外,有了较准确的农业气象产量预报,可使生产单位预先了解气象条件对作物生育和产量影响的情况,为确定作物种植面积、品种合理布局、以及采取趋利避害的农业栽培措施提供依据,力争在未来的气象条件下,获得较高的产量。

近年来由于世界范围的“气象异常”,各国粮食产量波动很大,鉴于此,许多国家都加强了农业气象产量预报方法的研究和预报服务工作。有些国家并用地球卫星对世界范围作物生长状况进行实测估产,来为其执行对外、对内经济政策服务。在这种形势下,我们搞好农业气象产量预测预报,对于开展国际经济斗争和阶级斗争,贯彻落实“备战、备荒、为人民”的伟大战略方针,加速我国现代化建设步伐都有着重要意义。

*编者根据77年4月气象科技资料“国外各类作物产量预报方法”作了补充。

二、农业气象产量预报方法研究进展综述

要开展农业气象产量预报，必须首先分析研究气象条件与作物产量的关系，找出影响产量的关键时期及其主要气象因子，建立起作物产量与这些因子的定量联系。这是作物产量农业气象预报方法的科学基础。并且在农业气候区划时，鉴定农业气候资源对某种作物产量形成的有利程度，也要用到这些数量关系。

作物产量与气象条件的关系是非常复杂的，很难全部揭露作物产量与各影响因子内在因果关系，长期以来只能是通过作物产量、气象因子的大量观测资料的综合统计分析，来区分影响产量的主要因子和次要因子，建立作物产量统计预报方程。有了这些关系方程，我们就能以一定的预报时效预报作物的产量。预报时效的长短与方程中选用的因子有关。可见，统计学方法是研究作物产量与气象因子关系的重要方法。同时也应该尽量考虑作物生长发育的基本规律、作物的生长状况及其生产能力等。

因为回归方程是表达作物产量与气象条件关系广泛采用的形式。因此。近十年来人们很注意研究回归分析法在农业气象产量预报上的应用，并取得了一些进展。应用逐步回归方法，可在大量的因子中筛选出影响产量的主导因子，组建最佳预报方程；还有人提出积分回归的概念，用这种方法可降低产量影响因子的多维性、并可获得某一因子对产量影响随时间变动的信息。

最近几年由于电子计算机的应用，使人们更加有可能来详细研究作物产量与气象因子间的定量关系。研究的因子数目大大增加，进而建立了作物产量与多个因子的综合相关方程，获得了适用于不同地区、不同作物、以至不同作物品种的农业气象产量预报方程，把农业气象产量预报方法的研究工作向前推动了一大步。

近几年有些国家在农业气象产量预报中考虑了“惰性因子”的作用。所谓惰性因子是指那些不仅仅决定于作物当时的状况。并且还对作物将来的状况的产量仍有较大影响的因子。包括主要气象要素、作物生长状况、土壤水分，光合潜能特性等。由于引进了当时作物状况、土壤水分、叶面积等这些与作物未来产量有密切关系的情报资料作为产量预报的因子、这样就将情报和预报结合起来，在一定程度上弥补了未来气象条件预报的不足，提高了农业气象产量的准确性。

用某些地点、某些年份的观测资料建立起来的作物产量农业气象预报方程，只反映了在那种特定条件下作物产量与气象因子关系的统计规律。如果地点变化了、栽培条件、地力、施肥的数量和质量等不同了、气象条件对作物产量影响的规律也就随之发生了变化。所以一般说来某一个地区某作物的产量预报方程，不适用于条件不同的其它地区；一个较大地区的某作物产量预报方程不适用于这个地区内的某个具体区域。这样要想满足不同地区和范围的农业气象产量预报的需要，就必须建立许许多多专用的方程，这就得投入大量的人力、花费很多时间。影响了农业气象产量预报的开展。有人企图通过在预报方程中引入较多因子的办法来克服统计预报方程的局限性，可是因为建立方程时所使用的资料缺乏客观性、选用的因子缺乏明确的生物学意义，所以即使是使用了如何高级的统计方法和手

段,考虑了再多的因子,更限制了预报方程的广泛使用。为此有人建立方程时尽量选用了具有明确生物学意义的产量因子,改进了统计预报方程,取得了较好的效果。

随着植物生理学、植物环境物理学等有关学科的迅速发展、高精度、多要素、连续、自记、遥测仪器的使用、试验方法和手段的不断改进,电子计算机的广泛应用,使作物产量与气象条件关系的研究正以高速度向深度和广度发展。现在许多国家正以气象因子及 CO_2 浓度、矿物质营养等对作物产量形成各生理过程的影响为基础,以农田气象要素、 CO_2 浓度、矿物质营养等时空分布状况为条件,将作物及其周围环境作为一个整体,从物质和能量转化及能量平衡的观点,应用数学物理方法来模拟作物产量的形成过程,建立土壤—作物产量—气象模式,用来鉴定作物产量形成的气象条件、进行产量预报。

建立“土壤—作物产量—气象”模式有重要意义。因为模式考虑了太阳辐射、气温、风速、垂直扩散、 CO_2 浓度、空气湿度、土壤温湿度、土壤 CO_2 释放速率、矿物质营养等大量因子,全面地、客观地反映了作物产量形成各生理过程与这些因子的因果关系和内在规律。所以克服了一般产量预报方程的局限性,能够适用于比较大的地区。只要有所需要的气象资料及其它有关资料,就能根据某种作物的土壤—作物产量—气象模式,借助电子计算机来鉴定各地产量形成的气象条件,迅速查明影响产量的不利因素,预报各地的产量这样可为作物和品种合理布局,及采取趋利避害的农业技术措施提供科学依据。可见作物产量形成过程的数学物理模拟是研究产量与气象条件关系的最有前途的方法。这是植物生理学、生态学等许多科学不断发展和密切结合的必然结果。它使农业气象产量预报方法的研究进入了新阶段。

三、国外农业气象产量预报方法简介

近20年来,许多国家都很重视作物产量农业气象预报方法的研究,并取得了较大的进展。为了有分析、有批判地学习外国经验,供研制适用于我国农业特点的产量预报方法时借鉴,在这里就美国、加拿大、苏联、日本、印度等国农业气象产量预报方法做一扼要介绍。

美国: L、M 汤普森于1962年研究了天气条件对具有黑钙土和栗钙土的美国五个州春小麦产量的影响,绘制了每个州1935—1961年的产量变化曲线。分析了产量随着生产技术改进而增长以及依天气条件而变化的情况。回归分析结果表明,计算产量时,非线性方程准确性高。最后他提出了春小麦州的平均产量(y)与8~3月的总降水量(x_1)、以及全州的4月、5月、6月、7月的平均降水量和平均气温(分别用 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 、 x_6 、 x_7 、 x_8 、 x_9 表示)相关二次方程式。

W、约翰逊、C、温德尔1964年给出了春小麦或冬小麦产量距平(Δy)与平均土壤含水量距平(Δx)的定量关系式,即 $\Delta y = a_1 \Delta x$,式中 $a_1 = 2.74$ 。相关系数 $r = 0.82$ 。

美国已开始用物理数学方法模拟产量形成过程,鉴定产量形成的气象条件,进行产量预报。对各种灾害性天气所造成的产量损失也进行了较深入的研究。用航测资料估计冰雹所造成的损失。S、A、钱格农与N、A、小巴伦研究发现,在玉米十四叶期及以后,用红外暗影法估计的产量损失与收获时测得的产量损失有很好的相关性。而在六叶期以前没

有这种相关性。*L*、*M*、霍特曼研究了飓风降水对美国南部各州主要农作物（稻、棉、玉米、大豆、花生等）产量的影响。美国已经运用地球资源卫星对世界范围的作物生长状况进行实测估产试验，为执行其粮食政策服务。

加拿大：粮食是加拿大的重要出口物质，它直接影响到整个国家的外贸和财政收入，所以从60年以来，就很重视农业气象产量预报方法的研究。气象部门把全国划分为三个土壤带，分别建立了产量、天气条件、土壤参数之间的模式方程，并与农业部门协作，预报作物产量，预报误差在12公斤/亩以内（即不到平均产量的10%）。

根据加拿大农业部门的要求，*G*、*D*、威廉斯和*G*、*W*、罗伯逊1964年根据降水资料研究了加拿大高草原春小麦产量的预报方法，他们得出结论：春小麦产量与土壤湿度的关系比与降水的关系更密切。因此，他们提出先根据降水鉴定土壤湿度、然后再依照相应的回归方程估算每个州最大概率的产量，

$$\hat{y} = C_0 + C_1x + C_2x^2$$

方程中 $x = b_1Md + b_2Rd_1 + b_3Rd_2 + b_4Rd_3$

式中 x ——根据降水计算的土壤有效湿度；

Md ——根据播种前的休闲期降水计算出的土壤蓄水量；

Rd_1 、 Rd_2 、 Rd_3 ——谷类作物区5、6、7月的降水量；

C_0 、 C_1 、 C_2 、 b_1 、 b_2 、 b_3 、 b_4 ——回归方程的系数。这些系数对每个谷类作物区都要分别计算确定。

R、*H*、哈特*G*、*W*、伯顿研究了燕麦、黑麦与小麦降水、气温和太阳辐射的关系。产量与降水的相关系数为0.2~0.4；与积温的相关系数为0.4~0.6；与成熟期早晚的相关系数为0.4~0.5。并给出了单相关和复相关方程式。

W、贝尔和*G*、*W*、罗伯逊研究了春小麦产量与土壤水分蓄存量、降水量、最高最低气温的关系，得出产量与土壤蓄水量的关系最为密切（ $r = 0.84$ ），确定这种关系用的是多元线性回归模型。土壤蓄水量是播种——分蘖、分蘖——抽穗、抽穗——蜡熟这几个发育期的平均值。

威廉斯根据加拿大42个大的产麦区1952—1966年的春小麦产量资料和65个气象站的气象资料确定出定量模式，即春小麦产量（ y ）与5月份以前的21个月内的降水总量（ C ），5月降水量（ R_5 ）、6月份降水量（ R_6 ）、7月份降水量（ R_7 ）、以及这三个月的蒸发量（ Σ_5 、 Σ_6 、 Σ_7 ）的相关方程：

$$y = a_0 + a_1c + a_2c^2 + a_3R_5\Sigma_7 + a_4R_5\Sigma_6 + a_5R_5R_7 + a_6R_6R_7 + a_7cR_7 + a_8R_6R_7 \\ + a_9cR_6 + \sum_{m=5}^{\Sigma} (bm_1Rm + bm_2\Sigma m + bm_3R_m^2 + bm_4\Sigma_m^2 + bm_5Rm\Sigma m)$$

式中 a_1 a_2 …… a_9 ； bm_1 、 bm_2 …… bm_5 ——回归方程系数。

西欧各国，大多数情况下土壤水分是充足的，因此他们侧重研究了光合作用、肥料、气温、各发育期的持续时间对谷类作物产量的影响。例如，荷兰和英国认为用生长期内的被叶子吸收的总辐射资料比较好。荷兰有些人在相关计算中用了最高产量资料，而不是平均产量资料，以便在现有的经济条件下得到与“潜势产量”的比率。