

农业气象学的发展前景

О.Д.Сиротенко

作者认为目前农业气象学正处于一个转折点，即从经验统计方法转向以在水文气象条件和农业生态系统生产力之间的因果关系的模拟为基础的方法。论述了农业气象学的理论基础结构及其相应的数学模式。指出新的技术方法在解决下列任务时是非常有前途的；即农业气象条件诊断、生产过程的控制、与气候变化相联系的农业气候资源评价。本文的结论认为，实用农业气象学发展的重要方向是，建立为农业生产提供信息服务的各种尺度（地区、州、行政区、生产单位）的农业气象模拟系统。

在农业气象学中采用数理方法较之水文气象科学领域的其他学科要晚。早在70年代就已作出这样的结论：“在农业气象学领域基本上是经验方法占统治地位，时空上完全

是局限的，使用的是众所周知的形式统计分析方法。关于这些关系的形式用数学物理方程来表示，在当时绝大多数农业气象学者们自己连想都未想过。在最近的10~15年中，

农业气象学的状况发生了本质的变化。成功地发展了农业生态系统生产力的理论，而上述数理方程成为它的数学工具。同时，把作物视为土壤-植物-大气系统中的中心环节来研究，并作为生物化学机器进行模拟，这个机器消化来自周围环境中的能量和必需的基质，生产有机质。其相应的数学结构以两组相互耦合的方程系表示之。

一组是描述大气和土壤环境中物质和能量转移过程，以及通过植物体的水分转移过程物理方程系；

另一组是植物个体发育中的二氧化碳同化、异化过程、植物物质动态变化以及群落结构的生物方程系。

其中第一方程系给出光合作用系统的工作条件，第二方程系给出在植物发育过程中这个系统的发展状态。

在近年来水文气象出版社出版的一系列专著中，我们可以找到以某种形式来表示类似的方程组。虽然这一理论体系尚未完全建成，但是在其基础上已经建立了几十个农作物动态模式。这些模式大大提高了实用农业气象学的潜在能力。

众所周知，国外 50~60 年代，在农业气象学中已经用经验统计方法代替了定性描述方法，同时开始将主要注意力放在探寻天气-产量系统输入输出之间的直接经验关系。

目前，农业气象学正在发生一次新的质变，以定量分析方法取代经验统计方法，即定量地分析农作物生产力和水文气象条件之间的因果关系，以便揭示和描述所研究现象的机制。新的方法在某种程度上，使我们重新回到描述农业气象学的这样一种标准上，即带着其具有的综合特性和对各种现象和过程的深入和分析特点，但这是建立在定量分析的基础上的。Ю.И.Чирков、А.Р.Константинов、В.П.Дмитренко、В.А.Монсейчик、Э.Г.Палагин 的工作推动了这种趋势的形成。

现在让我们简要地探讨一下解决农业气象学中心任务的新方法观念的起源。农业气象学的中心任务，是研究和解释农作物生产力和水文气象条件之间的关系。还在 50~60 年代，М.Монси、Т.Саеки、А.А.Ничипорович、А.И.Будасовский、Ю.К.Росс、М.И.Будыко 发表了一系列形成生产力定量理论的主要论点的论著。但是这些著作被认为远离农业气象学所需要的抽象的理论。实际上，第一批生产过程模式多数属于静态模式，应该说只考虑到两个外界环境因子，即太阳辐射和大气中二氧化碳浓度。而其余因子则作为附带条件，认为它们能保持“最适”水平。显然，这种简化法不能满足实用的需要。所以，只有 De Wit 的工作，即在光合作用生产力理论中增加了动态概念，这对新方向的未来前途有着极为重要的作用。De Wit 和他的同事们成功地建立了第一个 ELCROS 农业生态系统动态模式。该模式合乎逻辑地、十分严谨地描述了生长期间植株生物量形成和二氧化碳光合固定作用的物理学和生物学过程。这些研究形成了一个新的范例。现在许多国家有几十个集体正在按这一范例的框架工作。在苏联农业物理研究所、全苏农业气象研究所和南方水利工程和土壤改良研究所正进行这类研究。多年来，由 Ю.К.Росс 领导的“天气-产量-数学”研究班在协调这方面的研究中起了重要的作用。

由于引进了能量物质交换理论，环境条件与植物生产力的关系反映得更为充分，更为符合实际。事实上，动态模式把二氧化碳、辐射、水分和热等状况与基本的生理过程（如光合、呼吸、生长、发育、衰老）联系在一起，而最近研制出的模式还将与植物的无机营养联系起来。理论上的突破应该导致相应科学知识利用的提高，但可惜，直到现在所开创的条件尚未实现，甚至尚未得到应有的认识，致使农业气象学现状至今与经验统计方向时的状况没有什么两样。那末，新方向在哪些方面最有用途？

1. 农业气象条件的诊断

经常需要对一周、一句、当年及其它时期水文气象条件进行评价。例如，过去一句是寒冷多雨旬，植物发育缓慢，植物生长量少，而土壤贮水量则得到了补充。这样一句的天气条件对产量形成是有利还是不利呢？至今对于这种天气形势的评价都是专家们依据个人的经验主观判断的。这里的困难在于，因为生态系统本身是极为复杂的动态结构，包括延迟现象、聚能效应、临界值变量众多以及其相互影响和非线性的关系等。因此，对实时农业气象条件的评价，不仅应当考虑天气条件的综合影响（温度、空气湿度、太阳辐射、降水），而且要注意到土壤贮水量、植株生长状况和发育程度。借助于动态模式可以很容易地解决这种问题。首先，必须选出一个标准，以此来对比评价期间的农业气象条件。标准可以用“气候常值”、“去年条件”等等。其次，确定评价条件与标准的差异程度，如下列关系式：

$$Y_k = \frac{y}{y_k} 100\%$$

其中， Y_k ——农业气象条件评价（与 k 标准条件的差异程度）， y 、 y_k ——分别为按评价期间的实际和标准数据计算的生产力。 y 和 y_k 之差是由评价期间的实际天气条件和标准

天气条件之差这唯一原因引起的。

现以不同的两年天气条件计算结果为例。1977 和 1978 年初始贮水量的评价分别为 117% 和 140%。生长期农业气象条件的评价为 59% 和 144%，最后年总评价相当于常年的 70% 和 202%，引用附表中各旬产量形成条件的评价进行分析可以获得更详细的信息。用这个方法可以表明产量损失最大的时期及其形成原因，可以估计降水、天气变冷、干旱、干旱风等的“价值”。显然，在相应的信息保证条件下，用这一方法可以建立有效的农作物状况监测系统。

2. 产量形成过程的控制

有充分依据和完全适合的产量形成过程模式的建立，意味着在农作物栽培条件的优化和产量形成的控制这一最重要方面上的突破。这个“所有问题中的问题”日益迫切，不仅因为粮食贮备不足，而且也由于在集约化生产条件下生态限制因素急剧增加。动态模式可以首先十分严谨地解决众所周知的产量规划问题。现举例探讨一下这一类最重要的问题之一，即制定获得一定数量产量时耗水最少的灌溉问题。如图 1 所示，即在具体年份下为获得 2、3、3.5 t/ha 春小麦谷物的最少的灌溉制度。

现代的动态模式可以解决这类问题以及

附表 根据叶尔绍夫农业气象站(萨拉托夫州)资料计算的春小麦生育条件评价和预测产量动态

年份	指标	评价时期结束日										
		出苗	10/5	20/5	31/5	10/6	20/6	30/6	10/7	20/7	31/7	收获
1977	产量q/ha	13.5	13.5	10.7	10.5	5.8	6.3	9.4	7.9	8.0	—	8.0
	评价%											
	旬	—	100	79	98	55	109	149	84	101	—	100
	时期	100	100	79	78	43	47	70	58	59	—	59
	年	117	117	93	91	50	55	82	69	70	—	70
1978	产量q/ha	16.1	—	16.5	16.8	16.9	15.7	17.0	20.3	21.5	23.3	23.2
	评价%											
	旬	—	—	102	102	101	95	108	119	106	108	100
	时期	100	—	102	104	105	97	106	126	133	145	144
	年	100	—	143	146	147	137	148	177	187	203	202

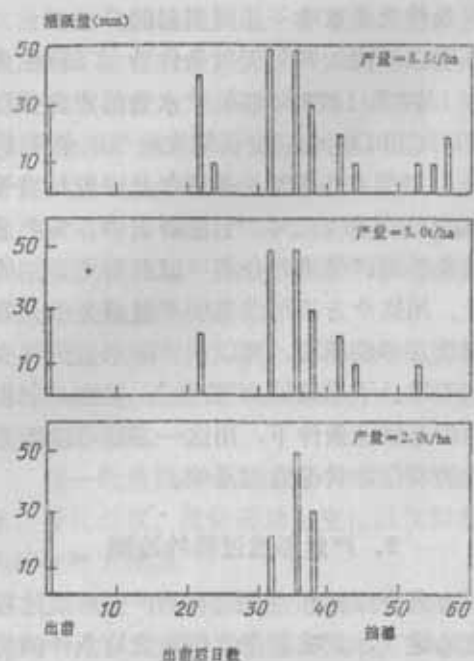


图1 为获得一定产量水平所需要的最少灌溉制度(春小麦,萨拉托夫)

控制植物的无机营养状况。

灌溉方面令人不满意的情况是众所周知的。A.P.Константинов 和 Э.А.Струнников 指出,目前苏联国内正在使用的灌溉定额法有数十种,通常是经验方法和局地方法。其依据和可靠性常常是很值得怀疑的。许多这类方法的作者推说解决问题困难,认为不可能建立有物理意义和生物学依据的最优灌溉定额方法。这种谬论与对现代生产力农业生

态系统理论估计不足有关。我们不得不赞同 A.P.Константинов 等人的论点,目前应当把注意力从研究当前的地方性方法转向集中解决主要问题——编制具体的通用的农业生态系统水分状况优化方法。这一问题的解决已经不能迟缓,时机已经成熟,实际上在已建立的动态模式基础上就有可能解决这一问题。对此需要补充说明,动态模式可以计算最难确定的水分平衡组成部分——总蒸发量(需水量),其精确度超过目前所用方法的精确度的一倍。

3. 地区农业气候资源及其可能变化的评价

农业气候学所取得的成就也是众所周知的,但最近时期它的发展慢了。可以预料,对环境和农业生态系统之间关系更加深刻的符合实际的认识,无疑给农业气候学这一领域知识的发展增添了新的推动因素。

下面举例探讨一下利用所提出的方法来评价农业气候资源。图2表示俄罗斯平原温度在 5°C 以上时农业生态系统生产力的计算值。植物生长是这样模拟的,在叶面积指数达到标准状况(据 De Wit, $L=5$)时,收割植株为初始生物量的90%,在以后的日子里从这一状态重新恢复生长直至达到标准状态或至停止生长为止。他们用这种方法计算了在实际的和优化的水分和无机营养保证下的总干物质产量(图2)。在水分和无机营



图2 在水分状况和无机营养最佳(分母)及实际(分子)条件下农业生态系统的总生产力(t/ha·year)

养不受限制的条件下，地区的生物学产量间的差异主要取决于太阳辐射、气温和生长期长度。因此，潜在生产力的分布具有纬向特征，在所研究地区其变化将近于50%。但在实际的水分和无机营养条件下生产力的分布并不具有纬向特征。正如所预料的那样，其最大值从克里米亚移到了克拉斯诺达尔边区（11.5 t/ha），而最小值是在阿特拉罕斯州的半沙漠地区（2.2 t/ha）。同时，还明显地表现出人为土壤肥力的影响。

潜在生产力与实际生产力之差值可以作为某一地理地区农业生态系统水分和营养状况优化措施效应的总评价的指标。

引证的例子虽然只是大尺度数值试验的一部分，但是可以用于地区气候-产量系统的研究。

讲到未来的农业气象学时，不能不涉及到全球气候变化的问题。看来，需要重新考虑许多农业气候计算方法所依据的“气候无变化”假设的时候到了。М.И.Будыко主编的《Антропогенные изменения климата》集体专著中对当今的气候变化作了最全面的论述。这部专著中的结论已被本世纪头50年的实际数据所证实。实际上，根据过去不久的气候条件将来保持不变的概念所采取的重要决策的错误程度愈来愈明显了。全球变暖趋势所带来的农业气候后果是多种多样的，这乃是一件极端重要的研究任务。国家水文研究所和全苏农业气象研究所开展了这方面的研究，但未投入很大力量，未包括这一复杂问题的全部内容。除了气候之外，还必需注意自然环境中其它成分的变化——如大气中的CO₂浓度的增长、土壤腐殖质的消耗及土壤退化等等。这一问题可以在农业气象学家、植物生理学家、土壤学家的通力合作下，用数学模拟手段加以解决。在此情况下研究的对象不应仅限于个别作物的生产力与变化的环境条件间的关系，还应当包括轮作制的生产力和作为生产基础的土壤肥力状况。

以上阐述了在农业气象学中利用新的分析方法的主要方面。此外，开展专项服务所必需的航天航空信息的解释、分析的研究也是很有发展前途的。

可以认为在电子计算机提供的可能性和相应的观测手段的基础上，当今农业气象学发展所达到的水平，可以从根本上提高水文气象为农业生产服务的效益。作者认为最近的将来实用农业气象学的主要任务是：建立、支持和开发各种类型的自动化信息系统（包括全国的以及各个地区、州、行政区和生产单位的信息系统）。这种农业气象信息系统（АМИС）分为四个主要组成部分：一套模拟模式、全套统计分析程序、数据库、系统保证硬件。

模拟模式应能确保用日步长计算全年时段土壤-农业群落-大气系统的最重要发育期变量的动态变化，个别情况下可用旬步长计算。

统计分析程序和包括多年资料的数据库应保证能够揭示出必要的诊断或预报回归关系式。从而解决农业气象学的连续发展问题，就是利用全部已知的业务上用的预报关系式，必要时引进新信息和可供选择的统计分析方法进行修正，如岭回归、分量分析、有限参数回归等。

АМИС的系统应当保证系统的统一性、使用方便和能够解决时空内插问题，以及输入输出资料的平滑和求平均问题。

问题分为三类，故АМИС分别有三种功能：

——考虑到农业生产技术的发展、气候和土壤变化过程，预测多年栽培业生产力。

——包括农业措施效应和优化评价在内的，目前农业生态系统状况监测和产量业务预报。

——根据要求进行专题分析，包括查找相似形势、在特定影响条件下农业生态系统和土壤特性的模拟以及概率计算。

国外也正在加强这一类系统的研究。其

中1980年开始使用的英国气象局研制的MORECS系统可作为第一批这类系统中的一个。这一系统在40→40公里的业务网格上计算全国范围各种农用地(农田、林地、果园)的水分平衡。美国研制出农场用的专家控制系统COMAX中应用了棉花生育动态模式GOSSYM。根据重新输入的气象信息,该系统可以逐日地作出棉花发育期预报、产量预报、修订生长季其余时期的技术措施进度表(包括灌溉、追肥、防治病虫害措施等)。同时,用户用对话方式,可以获得不采用措施或改变措施时的损失量情报。

最后,我们想谈谈农业气象学已有知识领域的发展问题,应当指出,新分析方法还能解决许多传统的农业气象问题,其中最重要的是干旱问题,或者从更广一点看是农业

水资源保证问题。最好的动态模式由于详细而充分深入地描述了植物的水热状况,故可以通过数值试验极大地提高对问题的认识与了解,促进减轻干旱损失的建议的研究。

现代农业气象学的状况同生态学专业的其它学科一样,可以说具有“按运动模式发展的特性”。此时,真假进展很难区别。所以当前对现有的正在建立的模式和方法进行评判分析,是极为重要的。在广泛的条件范围内引进大量可靠的试验数据,严格地评价其符合性。只有在这种条件下,才不致将基础科学所取得的成就为农业气象学开创的极好机会错过。

朱履宽译自《Метеорология и Гидрология》1990, 6, с. 101—108

刘树泽校