

# 产量 程序设计的 农业物理 农业气象和 农业技术原理

[苏] И. С. Шатилов

А. Ф. Чудновский

气象出版社



# 产量程序设计的农业物理、 农业气象和农业技术原理

[苏] И.С.Шатилов А.Ф.Чудновский

刘树泽 董 钻 朱振武 译

刘树泽 董 钻 校

农业出版社

## 内 容 简 介

本书系根据苏联著名农学家И.С.Шатилов和农业物理学家А.Ф.Чудновский的专著译出。全书共分三个部分七章：第一部，产量程序设计的基本途径；第二部分，农业技术对农业物理综合体的作用以及与天气条件的关系；第三部分，产量程序设计中工艺过程自动化控制系统的数学和技术保证。

本书可供农业、农业物理、农业气象、农业工程和应用数学等科技人员以及大专院校有关专业的师生参考。

И.С.Шатилов А.Ф.Чудновский

### АГРОФИЗИЧЕСКИЕ, АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ И АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЯ

Л.Гидрометеоздат 1980

#### 产量程序设计的农业物理、 农业气象和农业技术原理

[苏] И.С.沙季洛夫 А.Ф.丘德诺夫斯基

刘树泽 董 钻 朱振武 译

刘树泽 董 钻 校

责任编辑 张 国 秀

\* \* \*

商务出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京市昌平环球科技印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 全国各地新华书店经售

\* \* \*

开本：787×1092 1/32 印张：11.75 字数：261千字

1987年8月第一版 1987年8月第一次印刷

印数：1—1500

统一书号：13194·0387 定价：2.75元

## 译 者 的 话

随着科学技术飞速的发展，电子计算机的广泛应用，以及农业科学基础理论研究的逐步深入和科学实验手段不断改进，近十多年来，作物产量程序设计的理论研究和应用研究有了很大进步，且取得了可喜成就。

在苏联，有很多单位，如季米里亚捷夫农学院、农业物理研究所、南方水利工程和土壤改良研究所、伏尔加格勒农学院、白俄罗斯农业化学和土壤学研究所等，以及在北高加索、鞑靼苏维埃社会主义自治共和国等广大地区，在多种作物上进行了产量程序设计的科学研究和生产试验。本书就是苏联著名农学家 И.С.Шатилов 和农业物理学家 А.Ф.Чудновский，对季米里亚捷夫农学院和农业物理研究所多年所进行的科学研究和科学生产试验的总结。书中不仅系统地总结了苏联有关产量程序设计这一极其复杂，涉及多方面问题的课题的最重要研究成果，而且，还对国外这方面的研究作了评述，阐明了实现产量程序设计的理论依据、技术方法和技术手段。

全书共分三部分七章，还有总论、前言和结束语。第一章，现有的产量程序设计方法；第二章，工艺过程自动化控制系统是产量程序设计未来发展的途径；第三章，群体内的辐射状况及光合有效辐射对农业群落光合作用和生产力的影响；第四章，农田水-热交换过程；第五章，土壤-根系统中的

营养状况；第六章，保证实现程序设计产量的工艺过程最佳控制的数学原理；第七章，保证实现产量规划的诸工艺过程自动化控制系统的技术手段。

本书所论及的诸问题均属实现农业现代化的关键性问题。今天，农学正在逐渐地从实验描述的科学，向靠准确参数计算的实验理论科学转化。本书正是在这一转化中问世的。本书的翻译与出版，可供我国广大农业战线上的科技工作者、气象学者和农业气象科技人员以及数学工作者参考。

参加本书翻译工作的有刘树泽（前言、总论和第一章）、董钻（第三、四、五、七章和结束语）和朱振武（第二、六章）校对刘树泽、董钻。由于本书所论述的是新问题，难度较大，故翻译的不妥之处或错误难免，恳请读者指教。

## 前 言

本书是作者与其合作者以及有关同行，在季米里亚捷夫农学院和农业物理研究所多年进行的科学研究和科学生产试验结果的总结。本书既总结了本国的有关产量程序设计诸方面的最主要问题的研究成就，也综述了外国这方面的研究情况；提出了掌握和使程序设计方式方法付诸实现的具体办法；指明实现程序设计方法的理论上、方法上和技术上的途径。作者们非但没有否定现有的经验-统计方法和模拟模式方法，反而充分运用它们的长处。作者们只不过是使农田上所发生的农业物理过程、农业气象过程和农业技术过程的评定、分析和预测结果具有实用性，而不是取而代之。书中指出如何尽快地把这些方法用于解决农作物产量程序设计的问题中去。

应当指出，我们并不是说我们的建议与方案已尽善尽美了。为了达到产量程序设计的目的，关于农业生产中各工艺过程的自动控制系统的各方面的研究，尚有大量工作急待解决。如果，接着能够涌现出一批有关这一复杂问题研究的其他著作，将是令人十分高兴的。这是指有关本书中未涉及到的一些工艺过程的控制算法的研究；有关建立完善的收集、传输、整理各种信息的工程系统，尤其是配有必须执行指令的部件——建议系统；制定更加广泛的科研和科学试验大纲，以便检验根据理论推导出的各项农业技术措施的性质与

可靠性。

在综述涉及面如此之广的重大课题时，不难预料，广大读者必然对本书提出意见，对此我们甚为感谢！

本书是由具有农业技术和数理知识的学者们撰写的。我们认为这种团结协作著书的好处在于，作者们共同研究某些问题，共同探讨出现的难题，从而取得观点的一致，协调写作的内容。最后，我们向广大读者提供的，乃是一本合写著作：第一部分的第1和第2两章由И.С.Шатилов和А.Ф.Чудновский共同执笔；第二部分的第3和第5两章由И.С.Шатилов执笔；第4章由А.Ф.Чудновский执笔；第三部分的第6和第7两章由А.Ф.Чудновский执笔。

作者们衷心地感谢生物学博士Х.Г.Тоомиг对本书所提出的宝贵建议与意见。

# 目 录

译者的话  
前言

## 第一部分 产量程序设计的基本途径

总论 .....	1
第一章 现有的产量程序设计方法 .....	4
1.1 经验-统计方法 .....	4
1.2 模拟-模式方法 .....	31
第二章 工艺过程自动化控制系统是产量程序设计 未来发展的途径 .....	80
2.1 所述方法基本原则的实质与依据 .....	80
2.2 工艺过程自动化控制系统是理论和技术方法的综合 .....	108

## 第二部分 农业技术对农业物理综合体的 影响以及与天气条件的关系

引言 .....	122
第三章 群体内的辐射状况及光合有效辐射对农业 群落光合作用和生产力的影响 .....	124
3.1 植被的辐射状况 .....	124
3.2 光合有效辐射和群体中的光合作用过程 .....	135



3.3	光合作用与气体交换和呼吸作用 .....	138
3.4	光合作用与产量 .....	140
<b>第四章</b>	<b>农田水-热交换过程</b> .....	<b>198</b>
4.1	影响作物生产过程的水-热交换效应的范围和性质 .....	198
4.2	农田水-热交换领域中理论工作的主要方向 .....	203
4.3	作物-土壤-空气系统的热量交换和水分交换过程的综合理论 .....	218
4.4	作物与生长环境的相互影响 .....	222
4.5	冬作物越冬过程的程序设计原理 .....	237
<b>第五章</b>	<b>土壤-根系统中的营养状况</b> .....	<b>249</b>
5.1	土壤营养状况领域的基本问题 .....	249
5.2	根-土壤系统中营养交换的基本理论概念 .....	253
5.3	冬小麦的营养状况 .....	257
5.4	无机养分的需求动态与前作的关系 .....	260
5.5	禾本科牧草和红三叶草各器官对无机营养元素的积累和要求 .....	267

### **第三部分 产量程序设计中工艺过程自动化控制系统的数学和技术保证**

<b>第六章</b>	<b>保证实现程序设计产量的工艺过程最佳控制的数学原理</b> .....	<b>280</b>
6.1	模式的实质与特点 .....	280
6.2	管理决策最佳化的标准和农业气象信息用户的战略 .....	287
6.3	控制防霜措施的最佳化算法 .....	296
6.4	播期最佳计划的算法 .....	304
6.5	最佳灌溉定额计划的算法 .....	309
6.6	春季追肥的计划 .....	316
6.7	产量程序设计方案的最佳化问题 .....	320
6.8	应用动态程序设计方法获得计划和控制农业工艺	

过程的最佳算法 .....	32
<b>第七章 保证实现产量规划的诸工艺过程自动化</b>	
<b>控制系统的技术手段 .....</b>	<b>337</b>
7.1 农业中各种测量手段的规模和性质 .....	337
7.2 测定用的变换器、仪器和设备 .....	345
7.3 确保产量的各工艺过程算法的技术操作自动化控 制系统 .....	352
<b>结束语 .....</b>	<b>364</b>

# 第一部分

## 产量程序设计的基本途径

### 总 论

产量的程序设计工作是一项极其复杂、涉及多方面问题的独特的课题。这种程序设计理论，应该考虑到农田上所有各因子不断变化着的情况，尤其是要考虑到天气条件的自然变化特性，天气预报的不可靠性，植物对气候奇异变化反应的不确定性，以及农业生产的经济利益。考虑农业生产经济利益之所以重要，是因为事先规划好的产量不能靠采取任意措施而获得，只应采取最有利的，即人力、物力和财力消耗最少的措施。所以，力图考虑所有这些情况的理论必须具有高度通用性和综合性；必须是广泛包括多方面的内容；必须建立在多学科基础上，诸如物理学、数学、生物学、气象学、农学、耕作学、作物栽培学 and 经济学等。以这些学科为基础把各种观点有机地结合在逻辑上严整的体系中的综合理论，应当考虑出理想的理论方法的思想基础、逻辑和程序。这正是我们所要探索的。遗憾的是，在实际生活中我们距欲达到之理想，尚相差甚远。

目前，在制订产量计划和预报时，农业科学仅知道两种解决办法。不难证明，现有的各种方法都未超过这两种解决办法的范围。按其本质，我们把第一种办法称之为局部法

（即地方性方法）。第二种办法称之为通用法。采用局部法，先须根据给定有限地区某一农田上生长的某种具体作物观测得出的经验资料，找出作物生长状态与其影响因子，如气温、土壤湿度、空气饱和差以及这些因子的不同组合之间的关系。因为这些因子常常就是气候指标，故这一方法也常叫做“天气-产量”法。在这些关系中，常常包括较为复杂的因子，比如积温、总日照时数、生长期的降水量、光合有效辐射强度、辐射平衡等等。被探寻出来的“产量-天气”的经验函数关系，再与施肥量、灌水定额等因素相组合。

所有类似的相关公式有其共同的缺点，就是它们都是由统计材料推导出来的。所以，只有对被索取资料的局部地区和有限的条件，这些公式才是正确的。列入这些相关公式中的各经验常数，对于其他地区以及另一种土壤条件、天气条件和季节条件是不适用的。这些方法的最大弱点是缺乏绝对的物理根据和可能性。因此，对它们进行改进是可以理解的。

我们所说的通用方法就是指根据自然界中作物生长发育过程，并考虑作物与土壤和近地面空气层之间全部错综复杂的物质交换过程（即各种物质交换过程，如无机物质、水分、盐分和二氧化碳、养料）和能量交换过程（如辐射、对流和热传导交换等），所建立的产量物理模式。同时，气象、土壤、生理和微生物等多因子的子模式都要写成数学表达式。在这些子模式的数学表达式的基础上，建立起完整的产量总数值模式。如此严谨的综合性方法，不能不引起人们的极大兴趣。然而，在实践中运用通用法时，通用性本身反过来也有其不利的一面，换言之，我们必须处理大量的必要的资料，而这些资料目前不是未知数，就是很难弄到，因为获取这些

资料很复杂。例如，象生长函数、叶气孔器官指数、叶空间扩散系数以及其他许多有关植物、土壤、空气的特征量等均列入决定产量的方程式之中。有些作者拥有这样的参数竟达数千个之多。正因为如此，看来通用办法不会成为马上能在业务上实用的方法，至少最近的将来在农业实践中使用它是有问题的。

因此，迫切需要研究出一种过渡的办法，既考虑到通用法的有利的特点（尤其是物理模式及其数学描述式的长处），同时又利用局部法中到处运用的各种多元统计方法。凡是需要估算各微分方程中的大量系数，而各微分方程又是根据被研究的各过程本质决定性分析原则建立的地方，均应研究这种过渡办法。其中最重要的一点，就是这些方程所包括的所有值，必须是容易确定的或者说容易测量的，而方程的各项系数又必须具有明确的物理意义。如果提出这样的任务，则不难理解，必须按着全新的办法解决这一任务。这一全新的办法就是通过建立和使用农业生产工艺过程自动控制系统的办法，来解决产量程序设计的问题。这一新方法的实质何在呢？

以我们看来，所谓产量的设计是指农学家、土壤学家、经济学家以及工程技术人员在农田上所进行的大量各种技术过程的结果，而这些人劳动都是致力于合理改进农业生产。为了在给定条件下获得尽可能高的产量，必须能够计算和规划播种期、播种量、播种深度、施肥量、灌水定额和灌水时期、防治杂草、虫害、冻害、雪害以及作物倒伏等项技术措施的最佳指标，并能使其付诸实现。换言之，要研究保证产量的从种到收各项工艺过程都达到最佳化的办法。建立每个这样过程的模式，要比从物理学上阐述和用数学表达式

描述各工艺过程的总效益（整个产量）容易得多。我们的方法的实质在于，放弃未来产量的局部计算方法或者非常一般的计算方法，而是要建立：（1）确保产量设计的最重要技术过程的最佳算法；（2）利用技术装备自动处理这些算法的手段。

近年来的工作经验，尤其是第九个和第十个五年计划期间的经验表明，建立这种综合模式的研究工作已取得了实际的进展。这种综合模式从统一的观点把下面两个部分有机地结合起来：（1）实现产量程序设计中所要求的各主要工艺过程的理论基础与当天气预报不准时实施这些工艺过程的经济效益；（2）实施自动化控制运算农田重要工艺过程的技术手段。换言之，我们认为，在现阶段把工艺过程自动化控制系统这一方法，作为产量程序设计中主要的和最合理的解决办法，是可能的和现实的。我们这里所说的工艺过程自动化控制系统方法，就是指重要工艺过程最佳控制算法的理论研究，与使这些过程在田间条件下生效的自动工程系统的统一总合。

我们将详尽地探讨已有的产量程序设计的方法，以便证实这一方法的合理性。

## 第一章 现有的产量程序设计方法

### 1.1 经验-统计方法

在按某一个气候-气象判据确定产量的方法中，有些方法比较简单或比较复杂；有些方法是单值关系或多值关系；有些方法属于直接关系或间接关系。这些经验公式不管具有什么样的性质，按其结构来说，作物最终产量总是以计算某

一个天气因子或一组天气因子为前提的。如果用 $y$ 值表示产量，而代表近地面层和土壤状态的气象要素为 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ，则“天气-产量”方法就是展开、分析和使用如下函数式：

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1.1)$$

(1.1)式是根据长期观测、多年资料的分析及其统计整理建立起来的。函数( $f$ )可能是线性的、指数性的或其他性质的。究竟是什么性质的，这取决于观测地点、当地的地形、气候带以及一系列的地方性天气特点。当然，首先取决于作物种类及其发育阶段。在实际的田间条件下影响产量的气象因子很多。因此，在“天气-产量”的模式中，表示这些关系的公式具有如下形式：

$$y = f[x_1, x_m, x_p, \dots, x_k, x_{i_m}, x_{i_p}, \dots, x_{i_k}, x_{m \cdot (p+1)}, \dots, x_{m \cdot (k-1)k} \dots] \quad (1.2)$$

公式(1.2)假定，在一般情况下，气象因子彼此间是相互关联的，它们对产量的影响，可能是各自独立的，也可能是各种结合式的。关键的问题是，能于以函数( $f$ )式表达自然界中产量与影响 $y$ 值变化的气象参数组合的实际关系。然而，由于农田上可能出现的情况是多种多样的，而它们在不同纬度、不同天气-气候和景观条件下，所表现出来的对每一作物的影响也是各式各样的，故按照经验-统计方法的原则，难以指望获得单值( $f$ )函数式。从一般逻辑观点出发，只能说，这种函数应该说明的是什么。

问题在于，任何气象因子对产量的影响均是：如果这一气象因子的影响强烈或者相反，影响很小，则产量很低；若 $x_i$ 值处于某种中间值的条件下，产量则最佳。换句话说，当温度、湿度、太阳辐射和其他因子处于最低值或处于最高值的

情况下，产量可能最低；而气象参数处于中间值的情况下，对最终产量有利。这就是说，随着气象参数从低值起增长，产量会剧增，而当 $x_i$ 值继续增大时，增产过程减慢，而最终导致 $y$ 值降低。由此可知， $y$ 是 $x_i$ 的指数函数<sup>[152]</sup>：

$$y = y_0 (1 - a^{-b x_i}) - c x_i^n \quad (1.3)$$

因为，许多气象因子是同时起作用的，又是相互制约的，所以，我们最可能得到的 $y$ 式如下：

$$y = \sum [y_{0j} (1 - a_j e^{-b L^j j})] - \sum c_i x_i^N \quad (1.4)$$

$$j = i, m, p, \dots, k; \quad im, ip, \dots, ik; \quad mp(p+1), \dots,$$

$$(k-2)(k-1)k$$

式中， $y_{0j}$ 为因子 $x_i$ 无限增大时的产量值。

遵照各种多元回归分析方法，必须求出每一具体情况下的(1.4)式中的经验系数： $y_0, a, b, c, N, B$ 。实际上，只好利用其他关系式，不一定是指数式。这时，常常使用选择最合适的关系式的办法，这种关系式接近于农田具体条件。

最方便的方法是把获取产量与农业气象条件多重关系式的相关关系的平滑和规格化法。这样，就可建立 $n$ 个未知线性函数 $f_i(x_i)$ 的多元线性回归方程式： $y = a_0 + a_1 f_1(x_1) + a_2 f_2(x_2) + \dots + a_n f_n(x_n)$ 。这是不得不挑选的函数形式。回归方程的均方差是挑选判据。“产量-天气”方程的线性近似〔根据(1.3)方程这种近似允许低于和高于最佳值〕法的实质，将在下面简要提及<sup>[2, 95]</sup>。原始变量 $x_1, x_2, \dots, x_n \equiv x_0$ 要进行二次函数单调变换。其中第一次变换的形式，就是以 $P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{iN}$ 超值的经验概率，替代诸变量的观测值 $x_i$ ，超值由下式确定：

$$P_{ij} = P_i(x_{ij}) \approx \frac{m(x_{ij}) - 0.25}{N_i + 0.5}$$



$$m(x_{ij}) = 1, 2, \dots, N$$

式中  $m(x_{ij})$  为递增级数  $x_{ij}$  的顺序号。

第二次变换，就是用规格化的变量  $U(x_{ij})$  替换顺序变量  $x_i$ 。规格化变量由正态分布函数求算：

$$P_i(x_{ij}) = P_m = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-x}^{U_m} e^{-U^2/2} dU$$

作为反函数  $U_i$

$$U_m = F |P_m| = F[P_i(x_{ij})] = U_i(x_{ij})$$

对每一问题，都要建立原始变量  $x_i$  和规格化变量  $U_i = U_i(x_i)$  或  $x_i = F_i |U_i|$  之间的补助经验曲线。总之，所有成对的非线性单调相关关系  $(x_i, x_k)$ ，均须变换为规格化变量  $(U_i, U_k)$  间的线性关系。

这里，我们引用一个确定产量（确切地说，是实产  $y$  与可能最高产量  $y_0$  之比）与两个气象因子（月平均气温  $x_2$  和大于 1 毫米的降水日数  $x_1$ ）非线性单调关系的情况，作为在农业气象中运用相关关系平滑和规格化方法的例子<sup>[65]</sup>。根据 1947—1971 年 6 月份的资料整理，得出苏联欧洲地区春小麦如下回归方程：

$$y/y_0 = f_0[0.272U_1(x_1) - 0.58U_2(x_2)]$$

这些结果与许多其他研究者<sup>[4, 6]</sup>所得出的数据是很吻合的。

不少研究者证明，实现计算低于  $y(x_i)$  曲线最佳值的产量方程式线性化是可能的。例如 С. Д. Лысогоров 和 В. Ф. Сухоруков<sup>[61]</sup>，把这一函数展开为  $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$ ，式中， $b_i$  为回归系数， $x$  为产量因子。

在南方黑钙土地地区因古列茨 (Ингuleц) 河灌溉系统的玉米实验中，根据专门设计的多因子试验数据，用电子计算