



农业出版社

于贵瑞编著

种植业系统分析 与优化控制方法

种植业系统分析与 优化控制方法

于贵瑞 编著

农业出版社

内 容 简 介

本书综合了系统工程、运筹学、控制论、模糊数学、灰色系统理论等有关的理论和方法,在阐述种植业系统控制管理一般原理的基础上,介绍了种植业系统诊断、区划、预测方法、无约束优化、线性规划、非线性规划、决策、多目标优化模型和连续系统、离散系统、灰色系统的最优控制,最后附录了常用的 BASIC 程序。在编撰过程中,遵循系统、实用的原则,既使初学者能够阅读,又有一定的深度,重点讨论了实际工作程序和方法的运用条件。本书可供从事农业管理、生产技术、科学研究人员以及有关教师参考,也可作为农学专业研究生、本科生的基础教材,还兼有工具书的作用。

种植业系统分析与优化控制方法

于贵瑞 编著

* * *

责任编辑 徐建华

农业出版社出版(北京市朝阳区农展馆北路2号)

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

850×1168 mm³² 开本 13.75 印张 275 千字

1991年5月第1版 1991年5月北京第1次印刷

印数 1—920册 定价10.60元

ISBN 7-109-01771-0/S·1170

前 言

农业是国民经济的基础，而种植业又是农业的核心，它不仅为人类提供粮、棉、油、麻、丝、茶、糖、菜、烟、果等基本生活资料，同时，它的发展状况对整个农业乃至整个国民经济都有重大影响。科学技术的巨大威力，使种植业生产摆脱了原始状态，进入传统阶段，又迅速地向现代化发展；人类对种植业系统的控制能力和范围也随之不断扩大。然而，由于种植业生产来自社会、生态、经济方面的压力和约束，使这一多目标、多层次、充满矛盾的生物工程系统在控制管理上更加复杂化。在很多情况下采用某些传统的思维方法(直觉决策)往往已无能为力，甚至阴差阳错，导致决策上的严重失误。因此，种植业生产迫切需要借助于严密的数学方法以及电子计算机的神速运算来实现管理决策的科学化，做到以自然规律和经济规律为依据，通过优化的农业技术体系对种植业系统施加控制作用，使其沿着最优的状态轨迹发展，最大可能地满足人类社会对种植业的物质、能量的需求——最优化控制。

自1911年泰罗(F.W.Taylor)在《科学管理》中提出“系统”概念以来，系统科学迅速发展，相继创立了系统论、信息论、控制论、大系统论、模糊系统理论、灰色系统理论等，并在军事、社会、经济等领域得到广泛应用。上述有关理论(如线性规划等)在农业中的应用是从60年代开始的，70年代发展较快，我国从1980年才开始应用线性规划等方法研究农业问题，近年已取得可喜的成就。为了总结我国在种植业系统分析与优化控制方面的成果，并为有志于从事这方面科学实践的读者，提供较为系统、实用的研究方法，我们尝试编著了这本书。

科学的发展日新月异，书中既想反映该领域的最新成就，又想系统实用，实感力不从心，犹如汪洋大海中一叶扁舟，难寻边岸。因此，只好从种植业系统原理出发，讨论系统分析、系统优化和系统动态的最优控制方法，最后附录了常用的 BASIC 程序。编撰过程中，假设读者具有微积分、线性代数和概率论的基本知识，汇集了系统工程、运筹学、控制论、模糊数学、灰色系统理论等方面的实用理论和方法，回避了复杂的数学推导和定理证明，着重讨论有关方法的应用条件、模型分析和实际工作程序。可供初学者学习，也适于具有相当系统工程基础的人员参考。

为了方便读者，现对本书所用符号简要说明如下：

1. 向量或矩阵用大写字母表示，用小写字母表示其中的元素。如 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ 表示 n 个元素 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 的列向量， X^T 表示行向量， T 为转值符号。

2. 用 $f(x)$ 表示单变量函数， $f(X) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 表示 n 元变量函数， $f(X, U) = f(x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots, u_m)$ 表示 $n + m$ 元函数。另用 $J(U)$ 或 $J(X)$ 表示泛函。

3. 一般地，变量(或向量)上标加括号表示数据变换或迭代次数。如 $X^{(0)} = (x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)})^T$ 为 X 的原始数据或初始值， $X^{(k)} = (x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)})^T$ 表示第 k 次变换或 k 次迭代值。

4. 离散系统用 $X(k) = (x_1(k), x_2(k), \dots, x_n(k))^T$ 表示在 kT 时刻的向量值。连续系统用 $X(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))^T$ 表示 t 时刻的向量值。

5. n 维欧氏空间记为 E^n ，因此 $X \in E^n$ 表示 X 属于欧氏 n 维向量， $R = \{X | G(X) = 0\} \in E^n$ 表示 n 维欧氏空间内有一个可行域 R ，满足约束 $G(X) = 0$ 。

6. 用 $\dot{X}, \ddot{X}, \dots, X^n$ 表示 X 的 1, 2, ..., n 阶导数， $\nabla f(X) = \left(\frac{\partial f(X)}{\partial x_1}, \frac{\partial f(X)}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial f(X)}{\partial x_n} \right)^T$ 表示函数 $f(X)$ 的 n 个一阶导数，称为梯度向量。

7. $\otimes$ 为灰数, $\tilde{\otimes}$ 为灰数的白化值; A (或 $\tilde{a}$) 表示模糊关系矩阵 (或模糊值); $P(\theta_i)$ 表示 θ_i 状态发生的概率, $f(x_i|\theta_i)$ 表示 x_i 在 θ_i 状态下的条件概率, $E(X)$ 为数学期望。

8. 向量 $X \in E^n$ 的模 (范数) 表示为

$$\|X\| = \sqrt{(X, X)} = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \cdots + x_n^2}$$

9. 最优值 (或目标值) 用上标 “*” 注明。例如, $U^* = (u_1^*, u_2^*, \dots, u_m^*)^T$ 表示最优控制向量, $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ 表示函数 $f(X)$ 的最优点或动态控制中的最优轨线, $f(X^*)$ 为函数 $f(X)$ 的最优值, $J^*(U)$ 或 $J^*(X)$ 表示最优泛涵值。

本书是编者基于多年科研和教学体会写就的。编撰过程中得到了沈阳农业大学陆欣来教授、肖祖荫副教授的指导, 及任天志、张晓明同志在程序调试和文稿整理方面的通力合作, 参考引用了其他同志的一些专著和学术论文, 谨此一并致谢!

由于编者学识水平有限, 书中不当之处在所难免, 敬请读者不吝赐教。

于贵瑞

目 录

第一章 导论	1
第一节 种植业在农业系统中的地位	1
一、农业系统结构	1
二、农业系统的任务	3
三、种植业在农业系统中的基础地位	5
第二节 种植业的系统特征	5
一、系统的概念及其类型	5
二、种植业系统的基本性质	7
三、种植业系统的信息特征	16
第三节 种植业系统控制管理的原则和方法	18
一、种植业系统控制管理的原则	18
二、种植业系统优化控制方法	20

第一篇 种植业系统分析

第二章 系统诊断方法	23
第一节 系统辨识	23
一、调查分析的内容	23
二、调查资料的来源	27
三、抽样调查方法	27
四、调查资料的统计分析	23
第二节 农业资源评价	36
一、作物优劣法	36
二、作物区域优势法	37
三、农业资源综合评价法	38
第三节 因子排序	40
一、相关分析法	40

二、关联分析法	42
三、专家评审法	45
第四节 层次分析法	50
一、层次分析概述	50
二、层次分析的基本程序	51
三、层次分析的计算程序	52
第五节 网络分析法	57
一、网络分析法概述	57
二、网络分析程序	59
第六节 农业技术进步诊断	64
第三章 系统区划方法	66
第一节 种植业系统区划概述	66
一、区划原则的拟定	67
二、农业资源的调查分析	67
三、区划指标的选择	68
四、聚类分析	69
五、做区划图	69
六、区划结果论证与修正	70
第二节 经典聚类分析在区划中的应用	70
一、系统聚类法	70
二、逐步聚类法	78
第三节 模糊聚类分析在区划中的应用	79
第四节 种植业区划实例	84
第四章 系统预测方法	90
第一节 特尔斐预测	90
一、特尔斐预测法的基本程序	90
二、评估结果的数据处理	92
第二节 趋势外推预测	95
一、概述	95
二、预测模型的选择	96
三、Logistic 模型预测	97
第三节 指数平滑预测	100
一、移动平均法	100

二、指数平滑法	101
第四节 GM 模型预测	109
一、数列预测法	110
二、灾变预测	124
三、季节灾变预测	126

第二篇 种植业系统优化方法

第五章 无约束优化模型	130
第一节 函数极值的解析求法	130
一、最优解的有关定义	130
二、极值存在的条件	131
三、函数极值的求算程序	133
第二节 函数极值的搜索法	134
一、搜索法的基本程序	134
二、无约束一维搜索法简介	134
三、最优梯度法	136
四、共轭梯度法	140
第三节 一种变动资源的最佳投入问题	145
一、一元生产函数的类型	145
二、成本与利润函数	149
三、资源最佳投入量的确定	151
第四节 多种变动资源的最佳投入问题	154
一、常用的生产函数模型	155
二、最高产量的资源投入	157
三、最高利润的资源投入	158
四、资源替换问题	159
第五节 作物栽培技术规范化的	162
一、大豆栽培技术规范化实例	163
二、小麦栽培技术规范化实例	165
第六章 线性规划模型	167
第一节 线性规划的数学模型	168
一、线性规划的问题及数学模型	168
二、线性规划模型的简化表达与标准型	170

第二节 线性规划的求解法	173
一、图解法	173
二、含单位可行基的单纯形法	174
三、不含单位可行基的单纯形法	179
四、线性规划解的特殊情况	183
第三节 作物布局中的线性规划模型	185
一、作物结构优化的基本模型	186
二、土地利用模型	190
三、有一定生产比例的作物布局模型	192
四、同一产品不同价格的作物布局模型	193
五、生产方式相同、收获方式不同的作物布局模型	195
六、生产任务落实的线性规划模型	195
七、农牧结合的作物结构模型	200
第四节 轮作制设计的线性规划模型	203
一、作为单季活动的线性规划模型	203
二、对个别作物约束的线性规划模型	204
三、考虑轮作顺序的线性规划模型	205
四、地块落实模型	207
第五节 饲料生产与利用的线性规划模型	207
一、饲料最优利用模型	207
二、饲料最优生产模型	209
三、青饲料最优生产模型	209
第六节 肥料施用与分配的线性规划模型	210
一、无机肥料的区域分配	210
二、作物施肥模型	211
第七节 几种特殊的线性规划	212
一、模糊线性规划	212
二、随机条件下的线性规划	214
三、灰参数线性规划	215
四、灰色动态线性规划	219
第七章 非线性规划模型	221
第一节 非线性规划概论	222
一、非线性规划的数学模型	222
二、非线性规划求解方法概论	224

第二节 等式约束的非线性规划	225
一、直接代入法	225
二、惩罚函数法	226
三、拉格朗日乘子法	227
第三节 带有不等式约束条件的非线性规划	229
一、拉格朗日乘子法	229
二、线性规划逐步逼近法	230
第四节 资源分配模型	236
一、一种资源在两种作物间的分配	237
二、两种资源在两种作物间的分配	239
三、多种资源在多种作物间的分配	240
第五节 作物施肥模型	241
一、一种肥料在两种作物(或地块)间的分配	242
二、一种肥料在多种作物(或地块)间的经济分配	243
三、多种肥料在多种作物中的最佳经济分配	244
第六节 作物布局模型	247
一、不同施肥水平的作物布局模型	247
二、防御冷害的最佳复种指数模型	250
第八章 决策模型	252
第一节 决策问题与决策过程	252
一、种植业系统中的决策问题	252
二、决策过程	253
第二节 简单决策	255
一、确定型决策	255
二、随机型决策	255
三、不确定型决策	257
第三节 序贯决策与决策树	260
一、决策树的结构	260
二、决策树的运算	262
第四节 对策模型	266
一、对策问题	266
二、有纯策略情形下的求解	267
三、求混合的最优策略	268
四、混合策略的线性规划求解	270

第五节 模糊决策与对策	272
一、模糊决策	272
二、决策原则	273
三、模糊对策	273
第九章 多目标优化模型	273
第一节 多目标综合决策	274
一、多目标综合决策的基本步骤	274
二、权重系数和打分方法的讨论	277
第二节 模糊综合决策	277
一、模糊综合决策的基本步骤	277
二、常用的隶属函数	281
第三节 灰色局势决策	286
一、一般过程	286
二、局势分析中效果测度的表示法	291
第四节 多目标规划	293
一、多目标规划的数学模型	293
二、多目标规划的一般求解方法	295
第五节 目标规划	300
一、偏差和法	300
二、线性加权和法	301
三、优先权法	30

第三篇 种植业系统的最优控制

第十章 连续系统的最优控制	303
第一节 连续系统最优控制模型	309
一、系统的状态与状态描述	309
二、最优控制的基本模型	312
第二节 应用变分法求最优控制	314
一、泛函变分的基本概念	315
二、泛函极值的必要条件——欧拉方程	316
三、变分法求解最优控制问题	321
第三节 应用最大值原理求最优控制	324
一、最大值原理	325

二、应用实例	326
第四节 种植业系统中的几个模型	328
一、生产—库存系统的最优控制模型	328
二、作物生长控制模型	329
三、害虫—农药系统最优控制模型	329
四、分期采收模型	330
五、农机保养与更新模型	331
第十一章 离散系统的最优控制	331
第一节 离散系统最优控制模型	332
一、离散系统的状态描述	332
二、离散系统最优控制模型	332
第二节 动态规划	336
一、最短路线问题的求解	336
二、动态规划的基本方程	339
第三节 一类多阶段优化问题	344
一、土壤耕作技术流程的优化	345
二、农业生产资料最佳经销(调运)途径	346
三、商品粮等农产品的最优运输路线	346
四、作物栽培优化技术流程	348
第四节 灌溉水的最优分配	349
一、作物模型	349
二、随机动态规划模型	351
三、无限供水下的最优分配	353
四、有限制供水下的最优分配	354
第五节 生产—库存—销售系统的最优控制	355
第十二章 灰色系统的最优控制	360
第一节 灰色系统的建模	360
一、灰色系统的五步建模	360
二、系统的传递函数	363
第二节 几种典型的 GM 模型	366
一、 $GM(1,2)$ 模型	366
二、 $GM(1,3)$ 模型	367
三、 $GM(1,h)$ 模型	367

四、 $GM(2,1)$ 模型	368
五、 $GM(n,h)$ 模型	369
第三节 种植业系统经济模型分析实例	369
一、模型的建立	369
二、模型分析	374
第四节 灰色系统的去余控制	373
一、去余控制原理	379
二、去余控制类型	380
三、去余控制实例	381
附录 种植业系统分析与优化控制的常用 BASIC 程序	386
一、灰色系统关联分析	386
二、求特征根和特征向量	387
三、模糊 ISODATA 聚类	387
四、趋势外推预测经验曲线的拟合	388
五、无约束优化的共轭梯度法	389
六、线性规划的单纯形法	390
七、等式约束下非线性规划的拉格朗日乘子法	391
八、不等式约束下非线性规划的拉格朗日乘子法	392
九、动态规划	394
十、 $GM(1,h)$ 模型的建立	395
主要参考文献	425

第一章 导 论

科学的发展具有两个不同的方向。一是微观的分化，二是宏观的综合。作物科学亦如此。传统作物学，在微观方向上相应地分化出作物生理生态学、作物遗传学、细胞生物学、分子生物学等学科；宏观方向上因不同层次的综合，相应地形成了作物栽培学、耕作学、农业生态学、农业经营管理学、农业战略学等。然而无论微观的分化，还是宏观的综合，都正在接受着现代数学的熏陶，逐步走向定量化，尤其宏观领域更为迅速。宏观科学的发展，使系统科学日臻完善，并且在工程、军事、经济等领域得到了广泛的应用。而它在农业领域中的应用起步较晚，也正是农业科学领域的一个薄弱环节，在作物科学领域更是尚待开发的“处女地”。如何应用系统科学的思想、方法研究作物生产，推动作物科学的定量化，做到优化地控制管理种植业系统，是亟待解决的、具有战略意义的科学领域。

第一节 种植业在农业系统中的地位

一、农业系统结构

传统的农业是栽培农作物和饲养牲畜的生产事业。但近年来，农业的概念和范畴发生了很大的变化。就农业系统结构而言；在我国有代表性的观点有“一字型农业”、“十字型农业”、“绿三角理论”、“飞鸟型农业”、“三维结构农业”等。各种观点都有其各自的特点，一定程度地推动了我国农业现代化的进程。我们认为：农业生产是一个自然、经济范畴的概念，因此认识农业系统的结构就必须抓住其最本质的联系——物质、能量和信息。从这一角度我们可以把农

业系统看做为以下五个亚系统(称为五大生产车间)的综合体。

(一) 有机物质和能量的初始生产车间——植物生产 植物生产主要包括种植业生产、林业生产、草原生产和浮游植物生产。它是利用绿色植物的光合作用同化无机环境中的能量和物质,生产初始有机物质和能量。是第一性生产,是物质、能量进入生物化学循环的源头。

(二) 有机物质和能量的第一生物加工车间——动物生产 植物有机物只有一部分可直接供给人类利用,而不能利用的部分应该尽可能地作为动物饲料,通过生物加工生产出鱼、肉、蛋、奶、毛、皮等。这是第二性生产,包括牧业和渔业,通过它可以提高植物有机物质的利用率。

(三) 有机物质和能量的第二生物加工车间——微生物生产 随着食用菌、沼气、酒精发酵以及其它微生物发酵业的发展,我们有必要把微生物生产也看作是农业生产的重要车间之一。它在农业生产中具有特殊的地位和意义。一些无法利用的植物残体和秸秆、谷壳等,通过食用菌生产可以进一步转化为高级蛋白质;经过沼气或酒精发酵,也可生产甲烷、乙醇等燃料;通过其它的特殊微生物发酵还可以生产一系列特用物质,如生物激素、氨基酸、医药品等。此外,它又可进一步为动物生产提供优质饲料。同样是第二性生产。

(四) 植物有机物和能量的机械加工车间——农产品加工 我国目前尚未把农产品加工列为农业生产系统的组成部分,然而它却是非常重要的,它与动物生产、微生物生产相似,都是对植物产品的再利用。通过机械作用改变植物产品的形态和成分,提高经济价值和利用效率,或者通过化学提纯,分离出植物有机物质中的特用成分,再经合理配制生产出更理想的食物。一般植物产品具有体积大、不易运输、不耐贮藏等特点,农产品就地加工后就可以减少损失,减轻运输压力,增加农民收入,活跃农村经济。这对农村的进一步发展是非常重要的环节,具有战略意义。

(五) 有机物质和能量的还原车间——地力培肥 在有机物质合成和加工利用过程中，生产人类的生活资料。为使这一过程持久而扩大地进行，就必须使植物需要的生活因素得到源源补充，这是地力培肥车间应完成的任务。它肩负着保持农田生态平衡，促进农业资源合理更新的使命。

农业生产的五大车间构成了一个物质、能量循环的完整体系。在这复杂的系统中有机物质的合成与分解是两大基本化学过程。而其中的每一个化学反应都与生物作用密切相关。就整体来看，各车间的生物化学过程构成一个物质、能量的生物化学循环网络。农业生产的实质就是通过能量、物质、信息的投入控制这一生物化学网络的运转，以获取有用的物质和能量。连续不断地满足日益增长的需求(图1-1)。这就是说，农业系统是一个动态的经济控制系统。

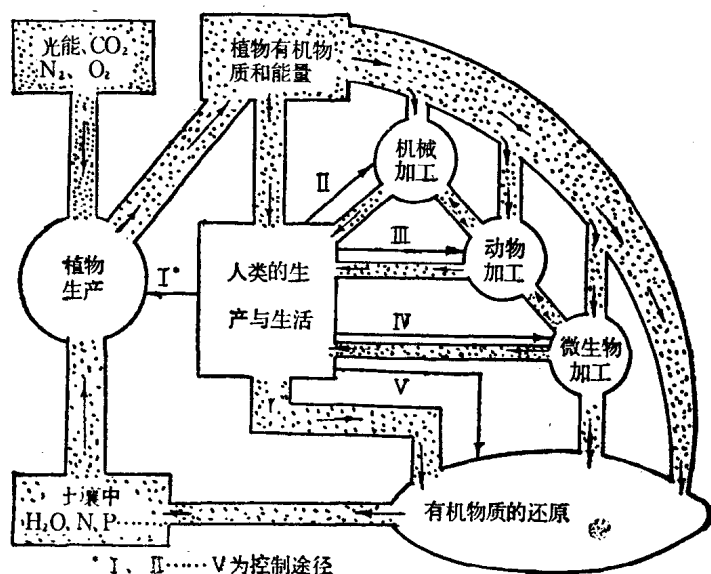


图 1-1 农业系统结构及其物质、能量循环与控制途径模式

二、农业系统的任务