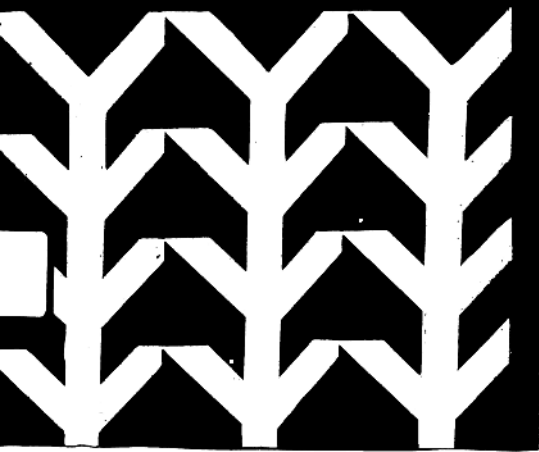


陈士宾 著

甘肃民族出版社



前 言

农业系统工程是一门涉及面很广的综合性边缘学科。本教材是为农学类专业（如农学、农化、植保等）而编写的。这些专业都要和作物打交道，都以生物为主要研究对象。在内容选择上，尽量适应这些专业的需要。对那些在生物类专业上暂时还看不到应用前景的内容，就大胆地删去。在编写方法上，尽量适应农科学生的特点，由具体到抽象，从方法到原理，叙述问题时，常从实例开始，然后概括为一般的理论。有些专门的数学推导，多以附录的形式放在有关章节的后面。

本教材主要内容可概括为以下几方面：

一、农业生产函数：要求正确、合理地使用资源，使资源发挥最大的技术经济效益。

二、回归分析和回归设计：用来解决农业上各种数量因子的综合研究问题，近几年应用发展较快，又称为优化栽培设计。

三、线性规划、目标规划和投入产出分析，都可用来研究农业系统的各种结构关系，如种、养、加的关系，农、林、牧的关系，作物的合理布局，畜禽的合理结构等。

四、农业系统的预测和决策问题：在生产经营和经济活动中，预测、决策，这是不可避免的问题。虽然预测和决策都难免发生失误，但用科学方法研究后，可减少一些失败，增加成功的机遇。

本教材是在甘肃省教育委员会的大力资助下才得以出版

目 录

第一章 概 述.....	(1)
第一节 系统的概念.....	(1)
第二节 系统科学的特点和内容.....	(5)
第三节 系统科学在农业上的应用.....	(7)
第二章 农业生产函数.....	(9)
第一节 资源与产品间的关系.....	(9)
第二节 资源与资源间的关系.....	(21)
第三节 产品与产品间的关系.....	(35)
第三章 回归分析的原理和方法.....	(48)
第一节 回归关系和回归模型.....	(48)
第二节 最小二乘估计法.....	(54)
第三节 协方差形式的正规方程组.....	(64)
第四节 回归分析的矩阵方法.....	(68)
第五节 最小二乘估计的统计性质.....	(74)
第六节 回归方程的显著性测定.....	(81)
第七节 回归系数的显著性检验.....	(86)
第四章 回归试验设计.....	(92)
第一节 回归设计的特点.....	(92)
第二节 回归设计的步骤和方法.....	(94)
第三节 回归设计的原理.....	(105)
第四节 回归设计的统计分析.....	(118)
第五节 D—最优设计.....	(134)
第六节 回归模型的应用分析.....	(144)

第五章 农业线性规划模型	(173)
第一节 线性规划的数学模型.....	(173)
第二节 线性规划的几何意义.....	(177)
第三节 单纯形法.....	(181)
第四节 引入人工变量和剩余变量的问题.....	(188)
第五节 线性规划的无解和退化问题.....	(194)
第六节 线性规划的矩阵解法.....	(198)
第七节 灵敏度分析.....	(213)
第八节 线性规划的对偶问题.....	(221)
第六章 目标规划	(235)
第一节 目标规划的作用和特点.....	(235)
第二节 目标规划的数学模型.....	(236)
第三节 目标规划的单纯形法.....	(241)
第七章 投入产出分析法	(252)
第一节 投入产出分析的步骤和方法.....	(253)
第二节 投入产出模型的一般形式.....	(259)
第三节 地区 and 企业的投入产出表.....	(265)
第八章 农业预测技术	(269)
第一节 预测的原理和分类.....	(269)
第二节 定性预测法.....	(271)
第三节 移动平均法和指数平滑法.....	(275)
第四节 一元回归预测法.....	(286)
第五节 逐步回归分析.....	(296)
第九章 农业决策分析	(321)
第一节 各类决策问题的分析方法.....	(321)
第二节 益损值计算.....	(327)
第三节 边际分析法.....	(351)

第四节	决策树法	.....	(337)
第五节	结构关系决策	.....	(340)
第十章	灰色系统理论和方法	.....	(341)
第一节	灰色系统的概念	.....	(341)
第二节	灰色关联分析	.....	(342)
第三节	灰色动态模型	.....	(349)
第四节	GM模型在系统分析和系统预测中的应 用	.....	(367)
附 录			(374)
PC—1500微机计算程序	.....		(374)
一、	逐步回归分析程序	.....	(374)
二、	多元二次回归分析程序	.....	(378)
三、	正交旋转设计分析程序	.....	(381)
四、	通用旋转设计分析程序	.....	(385)
五、	多元二次方程寻优程序	.....	(388)
六、	独立效应分析及绘图程序	.....	(391)
七、	交互效应分析及绘图程序	.....	(396)
八、	最低成本组合分析程序	.....	(401)
九、	线性规划程序	.....	(407)
十、	目标规划程序	.....	(413)
十一、	灰色关联分析程序	.....	(417)
十二、	灰色动态模型程序	.....	(421)
附表：一、	正态分布表	.....	(430)
二、	t 分布双侧分位数表	.....	(434)
三、	F 检验临界值表	.....	(436)
参考文献	.....		(448)

第一章 概 述

第一节 系统的概念

系统科学是以系统作为研究对象的，通常把它的具体应用，称为系统工程。关于系统的概念，目前尚缺乏统一的描述。在我国，比较公认的说法是：由相互联系的若干要素（又称元素）构成，并具有某种特定功能的整体，叫做系统。这个概念包含了四层意思：1、系统是指一个整体；2、这个整体由若干要素构成；3、各要素之间具有内在的有机联系；4、这个整体具有某种特定功能。系统可用一个集合来表示，设 S 是一个系统，它由 $S_1, S_2, \dots, S_n$ 个元素构成，则此系统可表示为：

$$S = \{ S_1, S_2, \dots, S_n \}$$

弄清了系统的组成元素，也就明确了系统的边界。边界以外的东西，就构成系统的外界环境。

系统有下述主要特性：

1、整体性：

这是系统的一个主要特性。所谓整体性是强调这么三个意思：①要素的不可分性。系统是由要素构成的，只有这些要素按照一定的规律组合起来，并按照一定的机制运行时，系统的作用才能发挥出来。如果把各要素互相拆开，彼此分离，则不能表现系统的整体功能。②要素的不可缺少。如果某个基本要素损坏或残缺，则会使系统的性能变坏，甚至失去应有的功能。③要素的协调配合，这是指要素间在结构方

而要配合协调，如数量比例，空间布局等，安排得当，性能良好。若结构失调，则功能变坏。因结构决定功能。当然，基本要素的良好性对整体功能也有不可忽视的影响。

2、联系性：

系统的联系性是指系统内各元素之间的关系和系统与外界环境之间的关系。所以，系统的联系性表现在内、外两个方面。在系统内部，要素之间存在着各种类型的关系，这种关系具有较强的确定性和稳定性，所以内在联系是比较有序的（Order），而不是杂乱无章的（chaos）。在研究系统的内部联系时，如能弄清要素间关系的具体性质，这对于调整系统的结构，控制系统的运行等是有积极意义的。系统与外界环境之间总是存在着联系的，因为任何系统不能离开外界环境而孤立存在。环境要影响系统，系统也要影响环境。搞清系统与环境间的关系自然非常重要。

3、层次性：

系统的层次性是指系统的子母关系或从属关系。一个系统常常是从属于另一个更大的系统的，同时它内部又包含着更小的子系统，于是就形成了一个大小母子系统系列，这就是系统的层次性。在农业方面，农村经济是农业系统的最高层次，它又可以分为大农业，农村工业，农村商业，农村服务业，农村运输业等子系统，这是第二个层次。大农业又可分为农、林、牧、副、渔等产业，这是第三个层次。其中的农业就是种植业。种植业又可分为园艺作物，经济作物，粮食作物等。每类作物中又可以再细分为若干种作物。这就构成了农业经济系统系列。然而，农村经济在整个国民经济中，又只是一个元素。由于系统具有层次性，因而系统与元素之间没有严格的界线，在一定场合为系统的东西，在另一

种场合可变为元素，反之亦然。所以，元素和系统的划分只具有相对的意义，可随研究问题的范围大小而变化。系统的层次性是根据系统的从属关系来划分的。另有系统的等级性，是指系统跨越的地域规模大小。如一个县的种植业和一个乡的种植业，地域规模大小不同，把它称为等级性差别，以免和层次性混淆。县、乡的种植业在农业经济系统中属于同一个层次，但规模大小不同。在研究系统时，搞清它们的层次关系是十分重要的。

4、结构性：

凡系统必有结构。系统的结构是指系统的元素之间和层次之间的量比关系和时空关系。系统的各要素之间，系统的各层次之间，要求保持一定的数量比例关系，系统才具有良好的功能，这就是结构上的量比关系。此外，对系统的各要素或各层次常存在一个空间布局和时间安排问题，这对系统的性能也有很大影响，这就是结构方面的时空关系。如大农业的结构包括农、林、牧、副、渔等业的用地比例，地块安排，收益比重等。这些是衡量结构是否合理的重要指标。种植业的结构包括作物的合理布局（各种作物的用地比例和地块安排），间作、套种，复种的合理配置和作物的轮作倒茬等问题。这些问题处理得当，安排合理，种植业系统就有良好的特性和功能，可保证持续稳产丰产。在自然生态系统中，绿色植物是一级生产者，草食动物是二级生产者，肉食动物是三级生产者。它们通过食物链发生联系。在这三级生产者之间存在着一定的数量比例关系。生态学研究说明，后一级生产者的生物产量，只有前一级生产者的十分之一，使三级生产者之间在生物产量方面形成一个塔形，保持着天然的平衡，称为金字塔定律或十分之一定律。这就是自然生态

系统的结构问题。

系统的分类问题：由于系统科学比较年轻，对系统的分类研究不够，所以目前还没有一个完整的、科学的分类体系，像动物、植物的分类那样，使每一个系统在分类体系中都有一个确定的位置。目前的分类是比较零乱的，是从不同角度来划分的，没有形成体系。现简介如下：

1、自然系统 (Natural system) 和人工系统 (Artificial system)：

这是从系统的来源，系统的产生方面来划分的。典型的自然系统，如太阳系，这是自然天体系统；原始森林，这是自然生态系统。人工系统，如各种机械、设备、仪器，仪表等，这些东西自然界本身不存在，都是人类创造出来的，所以叫人工系统。

2、物质系统 (Physical system) 和概念系统 (Conceptual system)：

物质系统是由物质构成的，它离不开物质和能量；而概念系统是思维的产物，如规章、制度、法律、计划、程序等。

3、封闭系统 (closed system) 和开放系统 (Open system)：

这是根据系统与外界环境的关系来划分的。

封闭系统：是指与外界环境不进行物质、能量和信息交换的系统。实际上，绝对封闭的系统是不存在的。

开放系统：是指与外界环境进行物质、能量和信息交换的系统。大多数的系统都属于开放系统。开放系统的特性和功能，要受外界环境的影响。

4、静态系统 (static system) 和动态系统 (D —

ynamic system)

静态系统：是指系统的结构，系统与外界环境的关系，系统的特性和功能不随时间而变化的系统。在稳定环境中工作的机器、仪器、仪表等，可看作是静态系统。

动态系统：是指系统的结构，系统与外界环境的关系，因而系统的状态、特性和功能等，都是随时间而变化的系统。农业生产系统，无论是大农业，还是其中的子系统，如种植业、养殖业等都有明显的时间性和季节性，都属于动态系统。各种作物有不同的生育期和生育时期。各种畜禽也有不同的生育阶段。这些都表现出农业系统的动态特点。系统的不同发展阶段，也构成一个系统，一般称为过程系统。动态系统在不同的发展阶段，有不同的状态和特点，因此弄清系统的变化过程，就是弄清过程系统，是非常重要的。因为系统的功能，除受内部结构和外界环境的影响外，还受发展阶段的影响。

在社会经济活动中，都是按行业来划分大的系统，如工业、农业、交通运输、邮电通讯、财贸金融、科技、教育、文艺等。

第二节 系统科学的特点和内容

系统科学与其他学科比较，有其明显的特点，这就是用整体的观点和综合的方法来研究问题。专业学科侧重于从某一个方面进行分析研究，促进了专门学科的深入发展。但是，科学技术的进步，生产力的发展，都日益表现出纵横联系的倾向，关系错综复杂，要求进行协调，要求在分析的基础上进行综合。这就促进了系统科学的产生和发展。系统科学在

研究和处理问题时，从整体利益出发，全盘考虑，统筹安排，瞻前顾后，关照左右，以总体优化为目标，采用经济有效的方法，实现最佳的设计，控制和管理，使系统发挥最大的效益。现用一个实例来说明系统观点处理问题的特点。在我国宋代真宗年间，当时京城在汴京（现在河南开封）。由于不慎发生火灾，把皇宫烧了。真宗皇帝要修复皇宫，把任务交给了大臣丁谓。这位大臣具有系统思维的观点，他经过一番调查研究后，提出了一个修复皇宫的方案：把皇宫前面的道路毁掉，挖成一条沟，将挖出的土用来烧砖瓦，然后把城外的汴河水引进沟内，各种建筑器材可通过水路直接运到建筑工地，待皇宫修复后，将残砖烂瓦等填平河沟，恢复道路。这是一个总体优化方案，通过毁路开沟这一举可以有三得：1、解决了就地烧砖瓦的问题，这是经济的；2、解决了建筑器材的水路运输问题，这是节省的；3、解决了各种废物的处理问题，这是合算的。虽然从局部看，把道路破坏是有所失的，但从整体看，得大于失，是划得来的，是优化方案。

系统科学自身的体系大体可分为系统理论、系统技术和专业应用几个部分。系统理论就是系统学，主要研究系统的概念、特性；结构、功能、系统与外界的关系，系统的发展过程等问题。系统技术提供解决各种系统问题的技术和方法，主要包括运筹学、信息论和控制论等内容。运筹学内容较丰富，包括规划论、决策论、对策论、网络论、排队论、搜索论、库存论、系统模拟，系统预测等问题。信息论研究信息的特征，信息的传输和处理等问题。控制论研究各种控制系统（机械系统，生命系统、社会系统等）在提取信息、传递信息、处理信息和运用信息等过程中的共同规律。应用

部份就是把系统理论和技术在各专业中具体运用，形成专业系统工程。如将系统科学在农业领域内运用，就是农业系统工程。

由于系统科学是一门以综合技术为主的学科，所以它涉及的知识面很广。在基础理论方面，它正在创建系统的自组织理论，吸收了许多有关理论研究的成果，如耗散结构理论，突变论、协同论、超循环理论等，用以说明系统由无序进入有序的自组织过程。在技术方法上，它在分析的基础上，侧重于综合，把定性和定量结合起来，打破了自然科学和社会科学的界限，使两者互相融合、渗透，不但需要大量的自然科学知识，还涉及广泛的社会科学知识，如经济学、心理学、行为学、社会学，未来学等。在具体应用方面，除需要有关专业的知识外，还离不开电子计算机这个强有力的计算工具。

第三节 系统科学在农业上的应用

把系统科学的有关技术应用到农业方面来，这就叫农业系统工程。目前农业系统工程涉及的科学范围主要有四个方面，即系统科学，农业科学，生态科学和经济科学。系统科学在农业方面的应用，最早在美国，始于五十年代，我国应用较晚，七十年代末期才开始。由于农业生产系统受很多因子的影响，而且其中有许多因子是目前人类难以控制的，如气象因子，地理因子和土壤因子等，所以是一个随机过程占主导地位的系统，使系统科学的应用遇到一定的困难。但在多方面的努力下，短短几年时间，农业系统工程的应用实践，已在全国20多个省区开展起来。如黑龙江省海伦县，山

东省长清县，湖南省浏阳县等，采用农业系统工程的理论和方法，制定县级农村社会、经济、科技综合发展规划。在农学领域内，目前已开展应用的内容有以下几个方面：

1、农业线性规划模型：目前已应用于县、乡级大农业结构研究，种植业和养殖业的结构调整和合理布局方面。此外，在化肥和饲料的合理选配上也可应用。

2、作物优化栽培设计：湖南省涟源地区农科所首先利用正交回归旋转设计研究杂交水稻的综合栽培技术，寻找优化农艺方案。目前优化栽培设计已在许多省区开展起来。作物已从水稻扩展到小麦、大豆、谷子、棉花、甜菜、洋芋等。回归试验设计促进栽培技术的研究由单项走向综合，栽培方案的制定由人工组装走向自然综合。

3、农业生产函数：对单因子或多因子试验结果，进行经济效益分析，以寻求不同产量水平的最低成本组合和最高利润组合。确定有限资源条件下的最佳产品结构等。

此外，决策分析可用来选择旱农地区的作物布局方案，估计市场动态确定专业化生产的规模等。回归分析技术可用于病虫测报和筛选影响生产的主要因子，对农业生产进行预测等。随着应用实践的扩大，将有更多的系统科学知识在农业上应用，促进农业科技现代化和农业管理现代化。

第二章 农业生产函数

第一节 资源与产品间的关系

一、农业生产函数的概念

作物生产是在广阔的田间进行的，它受很多因素的影响。影响作物生产的主要因素，称为生产要素。生产要素可分为两大类：一类是目前人类还难以控制的自然因素，可把它们看作天然资源，如温度、光照、雨量、空气湿度、氧气和二氧化碳等。这类生产要素是大自然无偿地向人类提供的，不需花钱购买，虽然不能有效地进行控制，但可以充分地、合理地加以利用。另一类生产要素属于可控制的人工资源，如土地、农肥、化肥、农药、灌水、种子、劳力、畜力、机具等。这类生产要素的特点是：1、它们是人类通过劳动创造出来的，具有价值，生产中消耗它们是要花成本的；2、它们的数量、质量，使用时间，使用方式等，在一定程度上是可以控制的，属于可控的生产要素。在这类资源中，有一些资源，如农肥，化肥，灌水和种子等，当只变动其中的一个因子，而将其他因子固定在某个水平上时，就可发现这个变化因子的使用量和作物的生产量之间具有某种形式的函数对应关系。我们把这种资源的投入量和产品的产出量之间的函数对应关系，称为生产函数，又叫资源反应曲线。如投肥量与作物产量间的关系，就叫肥料反应曲线。通

常把资源的投入量简称为投入，产品的产出量简称为产出。在研究问题中，投入量处于变化状态的资源，称为变动资源（或称可变投入）；而那些投入量处于固定状态的资源，称为固定资源（又称固定投入）。农业生产函数就是研究有关资源和产品的各种关系的科学。其中主要涉及三种关系：

- 1、资源与产品间的关系，又称投入与产出间的关系；
- 2、资源与资源间的关系，又叫投入与投入间的关系；
- 3、产品与产品间的关系，又叫产出与产出间的关系。

本节先研究资源与产品间的关系，以后再讨论另外两种关系。

二、生产函数的类型：

生产函数有三种类型：

1、固定生产力：增加单位资源所增加的产品数量为一个常数，不随投入量而变化，这种生产函数称为固定生产力，或称固定报酬。固定生产力通常出现在资源用量的变化幅度较小的情况下。固定生产力在两维坐标系中表现为一条直线。

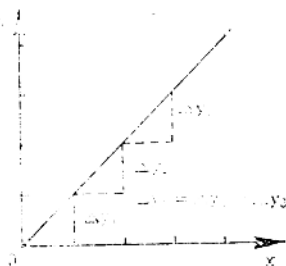


图 2—1 固定生产力

2、递增生产力：又叫递增报酬。增加单位资源所增加的产量是依次递增的。递增生产力通常出现在变动资源的投入量在比例上远小于其他固定资源的时候，所以资源的增产效果很好，呈递增现象。它的坐标图形为一条向上凹的曲线。

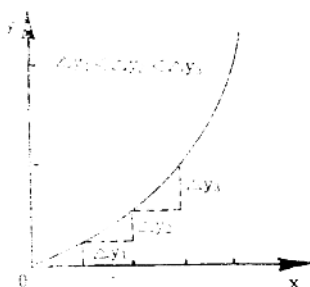


图 2—2 递增生产力

在生产中，这几种情况常在同一问题中交替出现。比如水、肥、种这几种资源，它们的投入量与产品的生产量间的关系，当投入量的变化幅度较大时，常表现以下特点：在资源使用量从低水平开始，逐步增加的时候，产品的生产量最初增长较快，然后逐步减慢，到一定阶

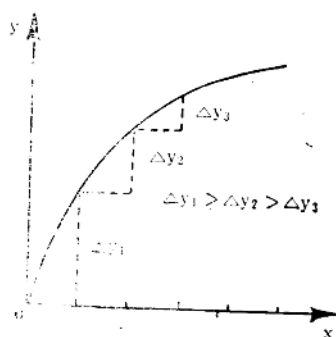


图 2—3 递减生产力

段达到产量顶峰，再增加投入量，产量反而下降。整个变化过程表现为单峰曲线。

现用一化肥用量试验来说明。试验资料如下：

表 2—1 不同化肥用量与春小麦产量的关系

化肥用量(份/亩)	0.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5
小麦产量(公斤/亩)	281.4	357.5	366.7	383.0	414.3	426.1	425.4	410.7

注：一份化肥为N1公斤，P₂O₅ 0.5公斤。

3、递减生产力：又叫递减报酬。增加单位资源所增加的产量是逐步减少的。这种现象在生产中是普遍存在的。它的坐标图形为一条向上凸的曲线。

将以上资料描成坐标图形，点的分布近似二次抛物线，经过回归分析，得到二次回归方程：（这就是生产函数的数学表达式）

$$\hat{y} = 292.2 + 19.436x - 0.717x^2$$

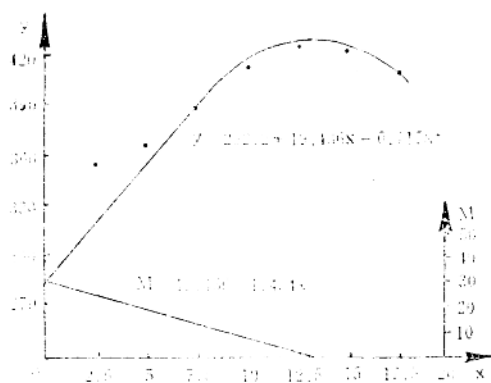


图 2—4 化肥用量与小麦产量的关系

对回归方程进行显著性测定， $F = 52.02$ ，超过 $F_{0.01} = 13.27$ 水平，达到极显著标准，说明方程拟合良好，对试验资料有较强代表性。

对回归方程求导数，并令导数为零，可得到最高产量的化肥用量。

$$\frac{dy}{dx} = 19.436 - 1.434x = 0$$

$$x = 13.55$$

$$\text{最高产量: } y = 423.9$$

三、生产函数的变化过程

为了分析生产函数的变化过程，现引进以下几个概念：