



农业多因素试验设计与统计分析

萧 兵 钟俊维编著

湖南科学技术出版社

农业数理统计丛书

农业多因素试验设计与统计分析

萧 兵 钟俊维编著

湖南科学技术出版社

农业数理统计丛书
农业多因素试验设计与统计分析

萧 兵 钟俊维 编著

责任编辑：贺晓兴

*

湖南科学技术出版社出版

(长沙市展览馆路14号)

湖南省新华书店发行 湖南省新华印刷二厂印刷

*

1985年9月第1版第1次印刷

开本：787×1092毫米 1/32 印张：13.375 字数：304,000

印数：1—3,600

统一书号：16204·195 定价：1.75元

目 录

前言	(1)
第1章 多因素试验的基本原理	(4)
§ 1 试验设计的概念	(4)
§ 2 试验方法的新特点	(6)
§ 3 试验设计的基本原理	(11)
§ 4 科研试验的过程	(11)
§ 5 试验的整体设计观念	(12)
§ 6 对试验设计的若干体验	(23)
§ 7 试验设计的应用范例	(25)
第2章 多点联合的正交设计	(31)
§ 1 多点联合的正交设计	(31)
§ 2 用于联合试验的正交表	(31)
§ 3 多点联合试验的安排	(33)
§ 4 各参试单位的结果分析	(45)
§ 5 联合方案的综合计算	(47)
§ 6 联合试验的优点及注意事项	(52)
§ 7 常用正交设计联合方案	(56)
第3章 用作直观分析的正交设计	(66)
§ 1 多因素试验正交选优法	(66)
§ 2 不同类型的正交表	(70)

§ 3	一般正交设计的步骤	(74)
§ 4	水平数不同的试验	(79)
§ 5	多指标的结果分析	(81)
§ 6	考察交互作用的情况	(89)
§ 7	关于交互作用的若干理论问题	(100)
§ 8	以往应用正交设计存在的问题	(106)
§ 9	常用I型正交设计方案	(111)
§ 10	常用II型正交设计方案	(118)
第4章	应用统计分析的正交设计(上)	(128)
§ 1	排满正交表的情况	(128)
§ 2	有重复的试验	(137)
§ 3	二水平试验的简化算法	(146)
§ 4	混合水平的情况	(156)
附录	F检验的临界值 (F_{α})表	(166)
第5章	应用统计分析的正交设计(下)	(174)
§ 1	三水平试验的分析	(174)
§ 2	结合专业分析的一个实例	(183)
§ 3	通用的正交设计分析方法	(192)
附录	多重比较中的Q表	(200)
第6章	正交裂区设计	(204)
§ 1	裂区设计的概念与类型	(204)
§ 2	正交裂区设计的特点	(209)
§ 3	设计步骤	(209)
§ 4	结果分析	(214)

§ 5	用 $L_{16}(2^{15})$ 安排的裂区设计	(219)
第 7 章	不完全区组设计	(224)
§ 1	平衡不完全区组设计	(224)
§ 2	试验方案的设计	(225)
§ 3	消除区组效应的分析	(228)
§ 4	方差分析与多重比较	(231)
§ 5	注意事项	(239)
§ 6	$r \leq 3$ 的不完全区组设计	(241)
§ 7	符号与有关设计表	(242)
§ 8	区组影响的消除	(245)
§ 9	有关说明	(251)
§ 10	常用平衡不完全区组设计方案	(254)
§ 11	$r \leq 3$ 的不完全区组设计方案	(259)
第 8 章	一次回归正交设计	(265)
§ 1	回归正交设计	(265)
§ 2	一次回归正交设计方法	(266)
§ 3	数据的分析	(270)
§ 4	显著性检验	(272)
§ 5	回归方程的验证	(274)
§ 6	预报	(277)
§ 7	一个应用实例	(278)
§ 8	另一种分析方法	(281)
§ 9	注意事项	(286)
§ 10	一次回归正交设计常用方案	(287)
§ 11	一次回归正交设计常用计算表	(289)

第9章	二次回归正交组合设计	(291)
§ 1	二次回归正交组合设计	(291)
§ 2	有关组合设计的概念	(292)
§ 3	设计试验的方法	(294)
§ 4	回归方程的求法	(299)
§ 5	二次回归设计的方差分析	(306)
§ 6	试验特点与注意事项	(310)
§ 7	获得二次方程的又一种方法	(312)
§ 8	二次回归正交设计常用计算表	(316)
附录	二次回归正交设计的计算程序	(328)
第10章	二次旋转组合设计	(332)
§ 1	回归旋转设计	(332)
§ 2	二次正交旋转组合设计	(333)
§ 3	回归系数的计算	(340)
§ 4	回归方程的显著性检验	(345)
§ 5	回归系数的显著性检验	(349)
§ 6	注意事项	(352)
§ 7	回归设计结果的应用	(355)
§ 8	二次正交旋转组合设计常用方案	(361)
第11章	划分正交区组的旋转组合设计	(368)
§ 1	为什么要划分正交区组	(368)
§ 2	怎样进行正交区组设计	(369)
§ 3	区组效应的分离与F检验	(371)
§ 4	二次正交旋转组合设计的正交区组	(375)

第12章	混料回归设计	(380)
§ 1	混料设计的概念.....	(380)
§ 2	单纯形格子设计.....	(381)
§ 3	单纯形格子设计方法.....	(382)
§ 4	回归系数的计算.....	(385)
§ 5	控制点检验.....	(389)
§ 6	单纯形重心设计.....	(391)
§ 7	混料比率设计.....	(395)
§ 8	设计特点与注意事项.....	(399)
§ 9	常用单纯形格子设计方案.....	(401)
重要词汇汉英对照		(406)

前 言

~~~~~  
实验的统计设计及实验数据的统计分析是科学家在许多学科里的主要工具。

D.S. 穆尔

~~~~~

这是一本不需要掌握高深的数学知识即可看懂的、专门论述多因素试验方法和统计技术方面的书。

R.G.D. 斯蒂尔等(1960)曾经指出:如果我们接受这样一个前提,即新的知识大多数常常来自于对数据的仔细的分析 and 理解,那么,最要紧的事情就是对搜集它们的计划给以相当多的思考与努力,从而消耗最少的人力和物力而获得最多的情报与资料。要做到这一点,就必须正确地利用试验设计技巧。

数十年来,由于实际的需要和广大科学技术工作者的共同努力,试验设计得到了飞速发展。现在,已经能够使情况很复杂以至试验者凭借直觉认为不可能做的试验成为可能。以数学模型作武器,能够同时研究许多因素的效应及其交互作用,能够通过方案的设计,以牺牲某些因素的某些信息为代价,获得最需了解的那些因素的最明确的信息。

试验设计与统计分析技术渊源于农业科研工作。但是,它的提出、研究、完善与发展却应归功于数学和其它领域的科学技术工作者。目前,农业科技人员对这个领域的最新成果了解

太少。近些年，国内出版了大量有关田间试验与生物统计的书籍。可惜，其中很多内容显得陈旧，新的方法很少介绍，甚至尚未提及。这种情况，促使作者下定决心，冒昧动笔，抛砖引玉，以补不足。

本书立论，尽量以现代农业科学技术的发展为出发点。试图让科技工作者站在新的高度，以新的思路和新的方法来进行各自的试验工作。本书内容刻意求新，取材着重适用，注意反映我国试验设计领域中的最新研究成果，而且不与现有农业田间试验书籍的内容雷同。本书不仅广泛地吸收了科技工作者的成功经验，而且，作为一种直接知识的来源，在各章节都渗入了作者自己的观点、经验与试验技巧。本书对于各种试验设计方法的介绍，一般遵循于这样的结构：首先简述方法的名称、缘起与用途。然后，结合例证，介绍设计的步骤与分析过程。最后，列举其优缺点、适用范围及其注意事项。为了方便读者，谈理论时，注意深入浅出；讲方法时，力求详尽具体。同时，将文字公式、数学公式与具体计算公式三者一并给出。全书完全避开了纯数学理论的严密推导。因此，一般说来，对于具备加减乘除、乘方开方和解简单方程等数学知识的农业科技工作者来说，阅读是不会感到困难的。

本书虽然尽可能做到通俗易懂，但是，真要融会贯通、灵活应用，则有待于实践。石川馨（1963）指出：“试验设计须与固有技术结合，才能充分发挥其效果。仅学会统计方法决不可能做出良好的试验方案。因此，具有固有技术知识为绝对必需的条件。然而，仅仅具备固有技术还不能较好地设计试验，习惯的方法易犯各种错误。因此，技术人员务须学习试验设计技术。”我们希望读者能够将试验设计、统计方法与各自的专业知识和课题实际有机地结合起来。目前，不少农业科技工作者对于

数学问题望而生畏。希望读者知难而进，不要以为试验设计与统计分析技术是另一个乐园的沃土上的理想之树，不要以为它在自己这“贫瘠的泥土”上是不能生长的。相反，只要努力，它是可以为你掌握，为你所用，为你开花结果的。

本书在写作过程中，曾经从中国现场统计研究会张里千、林少宫、朱伟勇等专家、教授以及湖南省娄底地区庄郁华同志那里得到了许多宝贵的启示。得到刘光辉同志支持，承蒙池俊教授推荐。在此，谨向各位深致谢忱。

由于作者学浅才疏，加上写作断续而成，错误在所难免。倘蒙读者赐正，尤为感幸。

萧 兵 钟俊维（湖南省科学技术协会）

一九八五年五月

第 1 章

多因素试验的基本原理

科学是实验的科学，科学就是在于用理性方法去整理感性材料。归纳、分析、比较、观察和实验是理性方法的主要条件。

马克思、恩格斯

§ 1 试验设计的概念

在一项科研活动中，选择多个因素 (multiple factor)、多个水平 (multilevel) 进行的试验，叫做多因素试验。

我们的科技人员每年都要花费大量的人力、物力、财力进行各种各样的、有多个因素参与的试验。采用的方法不同，效果也就不一样。

作同一个试验，这样安排就可能事半功倍，捷足先登；那样进行则少慢差费，甚至徒劳无益。同样进行试验数据的处置 (data processing)，未经设计的试验，往往由于误差 (error) 难以估计，结果不便于分析判断；而经过合理设计的试验，则能让人得心应手，举一反三。

在科研试验中，我们要求以次数尽可能少的试验来获得足够有效的资料，从而得出较为可靠的结论。从这个要求出发来考虑问题、安排试验，就叫做试验设计 (experimental designs)。

试验设计,就是研究安排试验并对结果进行统计分析 (statistics analysis) 的一门学问。从另一个角度来说,试验设计又是在一定的判断场合里,对随机因素进行合理的、在某种意义上可能是最优的观察的一种科学方法。试验设计是整理统计 (statistice) 的重要组成部分。

试验设计大体有以下几个方面的内容:

- 它研究在各种允许的试验条件下,最优试验方案 (scheme) 的存在性与求法问题;
- 它考虑到对各个因素在试验中的条件加以控制 (control);
- 它运用数学方法研究如何合理地抽取样本 (sampling);
- 它考虑到试验结果或观察时可能产生的随机误差 (random error), 并且对误差作出适当估计。

试验设计作为数理统计学的一个重要分支,是近五十年来,随着生产需要以及它自身数学问题的解决而发展起来的。

试验设计的概念,是英国著名的实验遗传学家与统计学家 R·A·费歇尔 (R·A·Fisher 1890~1962) 在《研究工作中的统计方法》(1925) 一书中首先提出来的。1935年,他出版了《试验设计》,提出了随机区组设计和拉丁方。并在罗萨姆斯台特 (Rothamsted) 农业试验站首先用于农业试验。

以费歇尔的工作发展起来的试验安排的一般模型或策略,现在称为经典试验设计。

1936年,费歇尔的学生 F·叶茨 (F·Yates) 创造了混杂设计,把多因素试验由完全区组设计推进到了不完全区组设计。1939年,波斯 (Bose) 和耐尔 (Nair) 引进了部分平衡不完全区组设计。1945年, D·J·芬林 (D·J·Finney) 以部分实施代替全实施。他还引进了平衡不完全区组设计 (1936)。

第二次世界大战期间，英美等国将试验设计应用于工业试验，取得很好的效果。大战结束后，以田口玄一博士(Dr. Genichi Taguchi) 为首的日本统计学家从应用角度，将试验设计中的某些方法加以改进，提出了用正交阵列表做试验的技术体系。

五十年代以来，有关试验设计的理论飞速发展。围绕拉丁方问题，组合数学(Combinatorial mathematics) 有了很大发展。因子试验又有新的起色，回归设计非常活跃。美国、英国、苏联、印度等国的学者作了大量工作。1958年，H. J. 谢菲(H. J. Schefé) 提出了混合试验的问题。G. E. P. 波克斯(G. E. P. Box) 等人提出了回归曲面设计。苏联在试验设计方面的工作是最近二十年来开始的。目前，比较引人注目的是B. B. 费多罗夫(B. B. Федоров) 等人在最优试验设计方面的研究与应用工作。

在我国，著名数学家许宝騄等人早就从事部分平衡不完全区组设计等方面的研究。六十年代，台湾省举办过专题研究班。七十年代以来，我国试验设计的理论研究与应用工作取得了很多可喜成果。正交试验法的研究应用曾荣获全国科学大会成果奖。各省、市、自治区涌现了一大批积极从事试验设计研究与应用的科技工作者。作为中国科学技术协会一级学会的中国现场统计研究会，对于发展适合我国国情的试验设计与数理统计方法作出了很多有益的贡献。

§2 试验方法的新特点

当代科学技术正在迅速发展，这是众所周知的事实。在当前形势下，科学技术的试验方法、科研方法 (scientific method) 有哪些新的特点？这是值得认真思索的。只有真正认清了

当代科研试验的某些新特点，我们对于目前正在进行的各项农业试验，才能有一些新的、起点比较高的认识。

现在，自然科学领域中两个趋势（tendency）是值得人们重视的：

一是科学技术整体化的趋势；

二是各类知识数学化的趋势。

科学技术整体化的趋势，促使研究方法的作用不断增长。各类知识数学化的趋势，使科研方法正在发生质的变化。

现在，我们已经由分析的时代进入了综合的时代。目前，系统思想、系统工程学等等，已经成为解决各类复杂问题的新思想、新方法与新手段。

简单地讲，所谓系统（systems），就是一系列互有关联的事物。把事物作为一个系统的组成部分来看，就是系统思想（systems thinking）。按系统思想来分析事物，利用适当的数学模型（mathematical model）来表达系统内部、系统与环境、系统与系统之间的定性与定量关系，并求出最佳方案，这就是所谓系统分析（system analysis）。将系统分析所得到的结论付诸实施，就叫系统工程学（system engineering）。

美、苏、日、法、英等国以及加拿大、意大利、奥地利、瑞典、芬兰、荷兰与东欧一些国家参加组成的国际应用系统分析研究所，在探讨不同国家的粮食和农业系统的模型（model）方面，做了大量的工作。

从现代科学来看，人类的食物生产是生物圈里的一个过程。农作物产量的形成，本质上是环境能量与物质的转化和积累。目前，人们把作物生长过程，作为由环境～品种～栽培措施相互作用而产生的一种现象。作物生长，是营养生长、生殖生长与成熟三个阶段组成的连续过程。很多人都试图用电子计算机

和其它数学方法来描述和反映上述过程。同时，寻求它们在生育过程中的最优生长势。土壤~作物~天气模式 (Soil—Plant—Air Model) 的形成便是其中一例。

在作物育种方面，对于基因型、年度、地区相互关系的研究，给予了新的重视。国际水稻研究所 (IRRI) 为了实现水稻改良计划，即遗传评价与利用 (GEU) 计划，大力组织品种、资源、遗传、育种、植病、昆虫、植物生理、生物化学、土壤化学等专业的科技人员进行配套的综合研究。试验设计在作物育种和栽培工作中的地位不断提高。

当前，世界肥料的研究有“多投高收”和“少投适收”两大类型。国际肥料发展中心 (IFDC) 等单位对于土壤与肥料的研究，取得了不少积极的成果。根据土壤肥力来评估作物产量，在一些国家已见成效。加拿大的科技人员对经济作物烟草的产量与氮、磷、钾的函数关系进行研究，求出了施肥最佳方案。凡此种种，例子很多。

据报道，苏联为农作物制定了大量数学程序设计 (programming)，以提高农作物的产量。在列宁格勒附近的别洛戈尔卡农业联合公司进行的收获数学程序设计的试验表明，在对构成收获的全部因素 (包括从种子质量、土壤微量元素含量，到天气条件)，都进行计算机分析的基础上，去管理土地肥力和作物生长，这个科学方法，是可以推广的。1983年，苏联已经为二千二百多万亩土地上的作物进行了模拟 (analogue) 试验。全苏农业科学院协调全国47个科研中心的活动。他们已经制定了形成马铃薯、玉米、棉花和某些谷物收获量的数学模型。在摩尔达维亚的全部玉米作物以及大约一百五十万亩向日葵和甜菜种植园，现在都在按照数学提示的新工艺进行耕种，效果良好。

在植物保护方面，植物病害流行病学的发展，已超过了单纯

描述病害生态因素的范畴。群体动态已经成为重要的研究课题。人们把有关病害~寄主~环境~防治系统的各类指标进行统一的研究,用各种方法观察、测定病害流行发展、病情增长、病害循环,以及作物损失等一系列变量,研究相关因子群与病害的相互作用。并且产生了总体因素田间试验法。近几年,已经报道了大量栽培作物病害流行的数学模型 (model for epidemics in growing crops)。

此外,在畜牧、水产、林业、果木、蔬菜、饲料、牧草和其它经济作物等方面的科学研究中,也有很多能够体现整体化、数学化的试验例证。

过去,美国教授E·O·黑狄 (E·O·Heady) 曾经提出二千一百多个变量与四百多个公式,打算建立农业系统模型,作出来相当困难。现在,这类问题已经可以解决了。

利用现代电子计算机 (electronic computer) 可以建立起各种模型。然后,利用这些模型,能够对有关系统的有关实体 (entity) 特性进行试验分析。这在实际上是一种“未做试验的试验”,是一类模拟试验。日本的科技人员利用电子计算机进行了光合强度和代谢产物因光照交错而变化的试验。还进行了植物叶外二氧化碳浓度光合作用曲线的测定。所求得的电子计算机解答值,与对一部分植物活体所作的试验的结果,在性质上是一致的。除此而外,不少国家在生物物理学、生物化学、土壤物理学、微气象学以及病虫害防治等方面都进行过模拟试验。有的国家产生了用于模拟试验的“电子番茄”、“电子水稻”等。可以预料,随着形势的发展,将来有可能通过计算机“培育”新品种或“种植”试验田。

从以上简要介绍,我们可以初步地看到:

(1) 现代科学技术已经从单纯依靠直观的、较为简单的试