

高等院校试用教材

试验设计方法

大连轻工业学院

郑州轻工业学院

西北农业大学

华南理工大学

福州大学

浙江农业大学

湖南农业大学

合编

林维宣

主编

大连海事大学出版社

高等院校试用教材

试验设计方法

大连轻工业学院	华南理工大学	合编
郑州轻工业学院	福州大学	
西北农业大学	浙江农业大学	
湖南农业大学		

林维宣 主编

大连海事大学出版社

(辽)新登字 11 号

图书在版编目(CIP)数据

试验设计方法/林维宣主编. —大连:大连海事大学出版社, 1995. 12

高等院校试用教材

ISBN 7-5632-0939-5

I. 试… II. 林… III. 食品工业-科学实验-设计-方法-高等学校-教材 IV. TS2-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 23337 号

大连海事大学出版社出版

(大连市凌水桥 邮政编码 116023)

大连海事大学印刷厂印刷 大连海事大学出版社发行

1995 年 12 月第 1 版 1995 年 12 月第 1 次印刷

开本:850×1168 毫米 1/32 印张:11

字数 300 千字 印数:0001~3000

定价:15.80 元

主 编 林维宣

副 主 编 黄椿鑑 李志西 徐丕鑑

参加编写 张 欣 邹积英 王德培

谭敬军 陈萃仁 宋建国

(以执笔章节为序)

内 容 提 要

本书介绍了食品科研、生产中常用的试验设计方法。全书共分十三章,涉及绪论、试验设计的概率论与数理统计基础、方差分析、回归分析、试验设计基本知识、全面试验设计法、正交试验设计入门、正交试验设计的极差分析、正交试验设计的方差分析、正交试验设计的灵活运用、试验数据的结构及其应用、均匀试验设计、回归的正交设计和计算机在试验设计中的应用等内容。书中系统地介绍了各种常用试验设计方法的原理、特点、适用范围和应用方法,并列举了大量食品科研、生产中的实例,便于自学和参照使用。最后一章给出了试验数据统计分析常用方法的计算机程序,书末附有常用的试验设计用表。

本书可作为高等轻工院校、农业院校、商学院、水产学院、粮食学院等院校的食品科学、食品工程、发酵工程、生物工程等专业《试验设计方法》课程的试用教材,也可供食品行业科研人员、工程技术人员、管理人员和试验工作者参考。

前 言

试验设计方法是对试验进行优化设计与分析的一种现代通用技术。它是工程技术人员必备的基本能力,是工程师共同语言的一部分。随着我国对外改革开放的深入和食品工业科研、生产的不断发展,试验设计方法在食品工业科研生产中的应用愈益广泛。为加强学生科研能力的培养和职业训练,培养应用型人才,国内许多高等院校已为食品科学与工程专业的本科生开设了《试验设计方法》课程。但到目前为止,国内还没有适合于食品科学与工程专业本科生使用的系统地介绍试验设计方法的教材,这给教师和学生都带来了极大的不便。为满足当前教学的需要,我们组织编写了这本教材。

本书是以大连轻工业学院、华南理工大学、郑州轻工业学院、福州大学、西北农业大学、浙江农业大学和湖南农业大学等七所院校共同拟定的《试验设计方法》编写大纲为依据,由上述七所院校共同编写的,由大连轻工业学院任主编单位。

本书包括绪论、试验设计的概率论与数理统计基础、方差分析、回归分析、试验设计基本知识、全面试验设计法、正交试验设计入门、正交试验设计的极差分析、正交试验设计的方差分析、正交试验设计的灵活运用、试验数据的结构及其应用、均匀试验设计、回归的正交设计和计算机在试验设计中的应用等共十三章。

根据《试验设计方法》编写大纲的要求,结合各校的教学实践经验,本书在编写过程中注意突出以下特点:(1)重点介绍常用试验设计方法的原理、特点、适用范围和应用方法,不作过多的理论上和数学上的推导和证明;(2)注重理论联系实际,列举了大量食品工业科研、生产中的实例,来说明试验设计的基本原理和方法,以便于理解和参照使用;(3)为了普及推广计算机在试验设计中的应用,适应时代发展的要求,本书以通用的 Basic 语言,给出了试

验设计中常用的统计分析方法的计算机程序。本书反映了试验设计技术在食品工业科研、生产中应用的状况,是国内第一本专门介绍试验设计技术在食品工业中应用的教材。

本书可作为高等轻工院校、农业院校、商学院、水产学院、粮食学院等院校的食品科学、食品工程、发酵工程、生物工程等专业《试验设计方法》课程的试用教材,也可供食品行业科研人员、工程技术人员、管理人员和试验工作者参考。

参加本书编写工作的有(以执笔章节为序)林维宣(绪论、第四、五、六、七、九、十章)、黄椿镗(第一章)、李志西(第二章)、徐丕镗(第三章)、张欣(第三章)、邹积英(第五章)、王德培(第八章)、谭敬军(第十一章)、陈萃仁(第十二章)和宋建国(第十三章)。由林维宣任主编,黄椿镗、李志西、徐丕镗任副主编,华南理工大学杨宜功教授任主审。

在编写过程中,得到了各参编院校有关领导及其它有关方面的大力支持,谨此致谢。

由于我们的水平所限,书中缺点错误在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	1
一、试验设计方法的性质、任务和作用	1
二、试验设计方法的内容	2
三、试验设计方法的发展简史	2
四、我国试验设计技术研究与应用状况	3
五、学习《试验设计方法》课程的意义	4
上篇 试验设计的概率论与数理统计基础	
第一章 概率论与数理统计初步	5
第一节 概率论基础	5
一、随机事件与概率	5
二、随机变量及其分布	7
三、正态分布	11
四、随机变量的数字特征	14
第二节 统计量及其分布	18
一、基本概念	18
二、统计量的分布	20
第三节 参数估计	24
一、参数的点估计	25
二、参数的区间估计	27
第四节 统计假设检验	31
一、假设检验的基本概念	31
二、一个正态总体的假设检验	33
三、两个正态总体的假设检验	36
第二章 方差分析	40
第一节 概述	40
一、方差分析的必要性	40

二、方差分析的基本思想	41
第二节 单因素试验方差分析	42
一、单因素方差分析问题的一般提法	42
二、单因素方差分析的前提条件	43
三、单因素方差分析的一般步骤	43
四、单因素方差分析实例	48
第三节 双因素试验方差分析	50
一、双因素无重复试验的方差分析	50
二、双因素等重复试验的方差分析	57
第三章 回归分析	64
第一节 什么叫回归分析	64
一、问题的提出	64
二、回归分析的内容	64
第二节 一元线性回归分析	65
一、一元线性回归的数学模型	65
二、参数 β_0 、 β 的最小二乘估计	67
三、回归方程的显著性检验	71
四、可化为一元线性回归的问题	74
第三节 多元线性回归分析	78
一、多元线性回归的数学模型	78
二、参数 β 的最小二乘估计	79
三、回归方程的显著性检验	83
四、回归系数的显著性检验	84
五、可化为多元线性回归的问题	90

下篇 试验设计方法

第四章 试验设计基本知识	95
第一节 基本概念	95
一、试验指标	95
二、试验因素	96

三、试验水平.....	96
四、试验处理.....	97
五、全面试验.....	97
六、部分实施.....	97
第二节 试验数据结构与试验误差	98
一、试验数据结构.....	98
二、试验误差.....	99
第三节 试验设计的基本原则.....	101
一、重复原则	101
二、随机化原则	102
三、局部控制原则	102
第五章 全面试验设计法.....	105
第一节 单因素全面试验设计法.....	105
一、完全随机化单因素试验设计	105
二、完全随机区组单因素试验设计	107
第二节 双因素全面试验设计法.....	110
一、完全随机化等重复双因素试验设计	111
二、完全随机区组等重复双因素试验设计	113
第六章 正交试验设计入门.....	118
第一节 正交试验设计法的基本思想.....	118
第二节 正交表.....	121
一、“完全对”与“均衡搭配”	121
二、正交表的定义与格式	122
三、正交表的分类及特点	124
四、正交表的基本性质	126
第三节 正交试验设计的基本程序.....	128
一、试验方案设计	128
二、试验结果分析	133
第七章 正交试验设计的极差分析.....	134
第一节 单指标正交试验设计及极差分析.....	134

第二节	多指标正交试验设计及极差分析	138
第三节	混合型正交表的试验设计及极差分析	142
第四节	考虑交互作用的正交试验设计及极差分析	146
一、	交互作用的概念及处理原则	146
二、	考虑交互作用的正交试验设计方法	149
第五节	食品感观指标的处理方法	154
第八章	正交试验设计的方差分析	157
第一节	正交试验方差分析的基本步骤	157
一、	计算	157
二、	显著性检验	162
三、	最优条件的确定	164
第二节	不考虑交互作用的等水平正交试验方差分析	164
一、	二水平正交试验的方差分析	164
二、	三水平正交试验的方差分析	167
第三节	考虑交互作用的正交试验设计的方差分析	170
一、	考虑交互作用的二水平正交试验的方差分析	170
二、	考虑交互作用的三水平正交试验的方差分析	173
第四节	混合型正交表的方差分析	179
第五节	重复试验和重复取样的方差分析	181
一、	重复试验的方差分析	181
二、	重复取样的方差分析	186
第六节	不饱和正交表的方差分析简介	190
第九章	正交试验设计的灵活运用	192
第一节	并列设计法	192
一、	问题的提出	193
二、	正交表的并列	193
三、	表头设计	194
四、	方差分析	195
第二节	拟水平设计法	197
一、	试验方案设计	197

二、试验结果分析	199
第三节 拟因素设计法	201
一、问题的提出	201
二、正交表的选择	202
三、正交表的改造及表头设计	202
四、试验结果的方差分析	204
第四节 分割设计法	210
一、分割法的基本思想	210
二、正交表的分组	210
三、分割法的应用	211
第十章 试验数据的结构及其应用	216
第一节 试验数据的结构	216
一、单因素试验的数据结构式	216
二、双因素试验的数据结构式	217
三、正交试验的数据结构式	219
第二节 正交试验设计中指标值的预估	223
第三节 缺失数据的弥补	228
一、利用数据结构式弥补法	229
二、一次估计法	232
第十一章 均匀试验设计	233
第一节 均匀设计的概念及特点	233
第二节 均匀设计表	235
一、等水平均匀设计表	235
二、混合水平均匀设计表	237
第三节 均匀试验设计的基本方法	239
一、试验方案设计	240
二、试验结果分析	242
三、均匀试验设计实例	242
第十二章 回归的正交设计	250
第一节 什么是回归设计	250

第二节 一次回归正交设计.....	251
一、一次回归正交设计的原理	251
二、一次回归正交设计的步骤	252
三、一次回归正交设计的应用	262
第三节 二次回归正交组合设计.....	267
一、二次回归设计的原理	267
二、二次回归正交组合设计的步骤	274
第十三章 计算机在试验设计中的应用.....	282
第一节 方差分析计算程序.....	282
一、单因素方差分析程序	283
二、双因素方差分析程序	287
第二节 回归分析计算程序.....	291
一、一元线性回归分析程序	291
二、一元非线性回归分析程序	293
三、多元线性回归分析程序	297
第三节 正交试验设计方差分析程序.....	303
第四节 均匀试验设计回归分析程序.....	310
附表.....	318
参考文献.....	340

绪 论

一、试验设计方法的性质、任务和作用

在食品工业生产和科学研究中,为了改革生产工艺,开发新产品,寻求优质、高产、低消耗的方法等,经常要进行各种试验。如何安排试验,如何对试验结果进行科学的分析,是食品生产、科研工作者经常遇到的现实问题。如果试验安排得好,就能以较少的试验次数,较短的试验周期,以及较低的成本而获得正确的试验结果和可靠的结论。反之,则会增加试验次数,延长试验周期,浪费大量人力、物力、财力和时间,也难以达到预期的效果,甚至导致试验失败。所以,在试验之前必须好好地“设计”一番。试验设计方法就是专门研究合理地制定试验方案和科学地分析试验结果的方法的一门应用技术学科。

试验设计方法的任务是以概率论与数理统计为理论基础,结合专业知识和实践经验,经济地、科学地、合理地安排试验,有效地控制试验干扰,充分地利用和科学地分析所获取的试验信息,从而达到尽快获得最优方案的目的。

试验设计在试验研究中具有非常重要的作用,它可以有效地解决如下问题:

1. 通过试验设计可以分清各试验因素对试验指标影响的大小顺序,找出主要因素,抓住主要矛盾。
2. 通过试验设计可以了解因素与试验指标间的规律性,即每个因素的水平改变时,指标是怎样变化的。
3. 通过试验设计可以了解各因素之间的相互影响情况,即因素间的交互作用情况。
4. 通过试验设计可迅速地找出最优生产条件或工艺条件,确定最优方案,并能预估在最优生产条件或工艺条件下的试验指标值及

其波动范围。

5. 通过试验设计的方差分析,可以了解试验误差的大小,从而提高试验的精度。

6. 通过对试验结果的分析,可以明确为寻找最优生产或工艺条件而进一步试验的研究方向。

二、试验设计方法的内容

试验设计方法作为统计数学的一个重要分支,所包含的内容是十分丰富的。目前,已经有许多种试验设计方法,包括全面试验设计、正交试验设计、均匀试验设计、分割法设计、SN 比试验设计、产品的三次设计、调优运算试验设计、回归的正交设计、回归的旋转设计、回归的 D—最优设计、混料试验设计等内容。其中最基本的最常用的是前三种试验设计方法和回归正交设计法。本书将分别介绍这四种试验设计方法。

三、试验设计方法的发展简史

试验设计这门学科是由英国生物统计学家费歇(R·Fisher, 1890~1962)于本世纪 20 年代创立的。他在总结他人工作的基础上,从理论上和实践上丰富和发展了数理统计学,总结出了完全随机化法、随机区组法、拉丁方法和希腊拉丁方法等试验方法,并发明了方差分析方法。他把这些新技术、新方法应用于农业和生物学试验中,取得了丰硕的成果,对当时英国农业大幅度增产起了决定性作用。1925 年费歇在他的《研究工作中的统计方法》一书中,首次把上述方法称为“试验设计”,并于 1935 年出版了他的专著《试验设计》。从此开创了试验设计这门应用技术学科。

在 40 年代,英、美、日等西方工业化国家继续对试验设计方法进行研究,并将试验设计方法逐步推广到工业生产领域中。在应用中人们发现,费歇的试验设计方法虽然在农业生产中很适用,但在工业生产中应用却受到了一定限制。例如,这些方法所能考察的因素数有一定限制,而且有的方法还不能考察因素间的交互效应。为此,人们努

力研究和改进费歇的试验设计方法。1947年,以日本的田口玄一为首的一批研究人员创立了适合于安排多因素试验的正交试验设计法。在试验设计技术发展的道路上,如果说费歇创立了传统的试验设计方法是第一个里程碑的话,那么正交试验设计方法的创立,就是第二个里程碑。它极大地丰富了试验设计方法的内容,解决了工业生产中多因素试验设计问题。

正交试验设计法创立后,在日、美、英等工业化国家,特别是在日本得到了迅速推广应用,带来了巨大的经济效益。二次大战后,日本工业生产飞跃地发展与在工业领域里普遍推广应用正交试验设计法有着密切关系。

进入50年代后,人们继续对试验设计技术进行研究,不断加以改进和完善。1957年,田口玄一等人又创立了SN比设计和产品的三次设计法,解决了产品或工序的最佳稳定性和最佳动态特性问题,为试验设计技术在工业中的应用开辟了更为重要、更为广泛的领域。这是试验设计技术发展道路上的第三个里程碑。

在田口玄一等人创立SN比设计和产品的三次设计的同时,美国威斯康新(Wisconsin)大学的博克斯(Box)教授也于1957年创立了调优运算试验设计法。这种方法是对传统的试验技术的发展和完善,运用它不仅可以探索最优的生产工艺条件,而且可以大大提高劳动生产率,从而获得很好的经济效益。因此,该方法一出现就引起了人们的普遍注意,并在许多国家得到了推广应用。

随着科学技术的进步,科研、生产的不断发展,试验设计技术也必将不断发展和完善。试验设计技术的应用也必将越来越广泛。

四、我国试验设计技术研究与应用状况

我国对试验设计技术的研究与推广应用起步较晚,建国后才逐步开展这方面的工作。到60年代末,一些学者在试验设计的理论研究与应用技巧方面都有所创见,取得了一定成果。进入70年代后,正交试验设计技术在我国工农业科研、生产中的应用越来越广,解决了不少科研生产中的关键问题,取得了显著效果。在理论研究方面也有

了新的突破,特别是1978年,我国数学家方开泰和王元将数论和多元统计相结合,在正交试验设计基础上,创立了一种新的适用于多因素多水平试验的设计方法——均匀试验设计法。并很快在诸多领域中得到了广泛应用,取得了显著效果。为试验设计技术的发展作出了一定的贡献。至于对SN比设计、产品的三次设计和调优运算试验设计的研究与推广应用,在我国直到80年代初才开始起步,目前应用还不广泛。

总之,在试验设计的研究与应用上,我国与发达国家还有一定差距。因此,大力推广试验设计技术,对于赶超世界先进水平,促进科研、生产的迅速发展,具有十分重要的意义。

五、学习《试验设计方法》课程的意义

随着我国科学技术的进步和科研、生产不断发展,试验设计技术在工业生产中的应用已日益广泛。它已成为一种现代通用技术,是工程技术人员必备的基本知识,是工程师共同语言的一部分。因此,高等工科院校的学生学习《试验设计方法》课程是非常必要的。

通过本课程的学习,可使学生掌握试验设计的基本原则及常用方法,可培养学生从事试验研究工作的能力。培养学生严谨求实、理论联系实际的科学态度,培养学生独立地获取知识和综合运用知识的能力,培养学生分析问题和解决问题的能力,提高学生的综合素质,使其成为高质量的应用型人才。

(林维宣)