

高等学校教材

试验设计与 SPSS 应用

王 颀 主编



化学工业出版社

·北京·

本书在详细介绍试验设计和统计分析基本原理的基础上, 利用 SPSS 软件将传统的统计分析方法“傻瓜化”。本教材包括食品试验设计概述、SPSS 软件概述、统计假设检验、方差分析、回归与相关、非参数统计、正交试验设计、回归的正交试验和 SPSS 统计图形等内容。

本书可作为高等院校食品科学与工程、生物工程、食品质量与安全、生物技术等有关专业本科生教材, 也可供相关专业和研究生参考阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

试验设计与 SPSS 应用/王颀主编. —北京: 化学工业出版社, 2006.10
高等学校教材
ISBN 978-7-5025-8782-6

I. 试… II. 王… III. ①试验设计(数学)-高等学校-教材②统计分析-软件包, SPSS-高等学校-教材
IV. ①0212.6⑥C819

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 126766 号

高等学校教材 试验设计与 SPSS 应用

王 颀 主编
责任编辑: 赵玉清
文字编辑: 张春娥
责任校对: 边 涛
封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社出版发行
(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

购书咨询: (010)64518888
售后服务: (010)64518899
购书传真: (010)64519686
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京市振南印刷有限责任公司印刷
三河市前程装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 15½ 字数 413 千字
2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-5025-8782-6

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

《试验设计与 SPSS 应用》编写人员

主 编：王 颀（河北农业大学）

编写人员：李法德（山东农业大学）

杨润清（上海交通大学）

张建华（上海交通大学）

赵改名（河南农业大学）

王晓茹（河北农业大学）

郭雪霞（农业部农业规划设计院）

主 审：贾 青（河北农业大学）

前 言

《试验设计与 SPSS 应用》是为高等院校食品科学与工程、生物工程、食品质量与安全、生物技术等有关专业本科生编写的教材，也可作相关专业和研究生的参考教材。《试验设计与 SPSS 应用》是一门综合性、实践性很强的专业课。本课程是在学生掌握大学数学、概率论和数理统计等主要专业课的基础上开设的。其目的是培养学生具备科研工作的能力和新产品研发的能力，并结合毕业实习和毕业设计，完成工程师所具备的基本能力训练。

试验设计来源于科学试验与统计学的发展与结合，我国在公元前 1 世纪前汉后期的《汜胜之书》提出的区种法就孕育着农业科学试验的思想。20 世纪初英国生物统计学家费歇 (R. A. Fisher) 从理论与实践上发展和丰富了统计科学，将试验设计方法应用于农业、生物学、遗传学等方面，于 1935 年出版了他的专著《试验设计》，从此开创了一门新的应用技术学科。

二十世纪三四十年代，英国、美国、前苏联等国继续对试验设计法进行研究，并将其逐步推广到工业生产领域中，在采矿、冶金、建筑、纺织、机械、医药等行业都有所应用。1949 年，以田口玄一博士为首的一批研究人员，研究和改进英国人的试验设计技术，创造了用正交表安排分析试验的正交试验法。1978 年，中国学者方开泰等提出了均匀设计，这些发展丰富了试验设计的内容，经过几十年的研究与实践，试验设计为工农业的发展做出了巨大的贡献，已经成为科技工作者必须掌握的一门技术。

本书作者在从事高等院校试验设计和统计分析的教学和研究工作的基础上，经过多次探索和实践，逐步形成了将试验设计方法和 SPSS 统计软件有机结合，进行统计分析运算的教材编写体系。在详细介绍试验设计和统计分析基本原理的基础上，利用 SPSS 软件将传统的统计分析方法“傻瓜化”。

本教材主编为王颖，参加编写人员有李法德、杨润清、张建华、赵改名、王晓茹、郭雪霞，本教材凝聚了全体参编者在教学科研实践中的经验和心血，它是集体智慧的结晶。本书在编写过程中得到了化学工业出版社和河北农业大学等单位同志的热情帮助，贾青教授审阅了全书并提出了宝贵的修改意见。此外，本教材引用了大量公开发表的文献资料，在此一并向这些作者和提供过帮助的人致以衷心的感谢！

由于作者水平有限，书中疏漏在所难免，恳请读者批评指正。

编 者
2006 年 8 月

目 录

第 1 章 试验设计概述	1
1.1 试验设计的历史与发展	1
1.2 食品试验研究的主要内容	2
1.3 试验设计的基本要求和注意事项	2
1.4 指标、因素与水平	3
1.4.1 试验指标	3
1.4.2 试验因素	4
1.4.3 因素的水平 (level of factor)	5
1.5 试验设计的基本原则	5
1.6 常用术语、统计量及其计算	7
1.6.1 常用术语	7
1.6.2 描述中心趋势的统计量	8
1.6.3 描述离散趋势的统计量	10
1.7 试验方案拟订	12
1.7.1 拟订试验方案的要点	12
1.7.2 试验方案	14
1.8 试验误差及控制	15
1.8.1 试验误差的来源	15
1.8.2 试验误差控制	16
复习思考题	17
第 2 章 统计软件 SPSS 概述	18
2.1 SPSS for Windows 的基本特点	18
2.2 SPSS for Windows 对环境的需求	18
2.2.1 对硬件的要求	18
2.2.2 对系统的需求	19
2.3 SPSS 11.0 for Windows 的安装、启动和退出	19
2.3.1 SPSS 11.0 for Windows 的安装	19
2.3.2 SPSS 11.0 for Windows 的启动	23
2.3.3 SPSS 11.0 for Windows 的退出	24
2.4 SPSS 11.0 for Windows 的系统运行环境	24
2.4.1 基本概念	24
2.4.2 数据编辑窗 (Data Editor)	27
2.4.3 结果输出窗 (SPSS Viewer)	28
2.4.4 SPSS 的其他窗口	29
2.4.5 多窗口操作	30
2.5 SPSS 11.0 for Windows 的系统参数设置	30
2.5.1 一般参数设置 (General)	30
2.5.2 输出窗口参数设置 (Viewer)	31
2.5.3 数据参数设置 (Data)	32
2.5.4 数据型变量自定义格式参数设置 (Currency)	33
2.5.5 设置草稿窗口参数 (Draft Viewer)	33
2.5.6 设置标签输出窗口参数 (Output Labels)	34

2.5.7	设置图形输出的参数 (Charts)	35
2.5.8	设置交互式图形窗口参数 (Interactive)	36
2.5.9	设置数据透视表参数 (Pivot Tables)	37
2.5.10	设置脚本窗口参数 (Scripts)	38
2.6	SPSS 11.0 for Windows 的基本运行方式	39
2.6.1	SPSS 11.0 for Windows 统计分析的一般步骤	39
2.6.2	SPSS 系统运行方式	39
2.6.3	SPSS 的操作方法	39
2.6.4	SPSS 帮助	39
2.7	数据文件的建立与操作	41
2.7.1	数据编辑窗口与数据文件	41
2.7.2	常量、变量、观测值、操作符和表达式	43
2.7.3	输入数据	48
2.7.4	编辑数据文件	50
2.7.5	对数据文件的操作	53
	复习思考题	54
第3章	统计假设检验	55
3.1	理论分布	55
3.1.1	二项分布	55
3.1.2	泊松分布	59
3.1.3	正态分布	60
3.2	抽样分布	65
3.2.1	样本平均数的抽样分布	66
3.2.2	均数标准误	67
3.2.3	两样本均数差数的抽样分布	68
3.2.4	样本均数差数标准误	68
3.2.5	t 分布	69
3.3	统计假设检验概述	70
3.3.1	统计假设检验的意义和基本原理	70
3.3.2	统计假设检验的步骤	71
3.3.3	统计假设检验中的两类错误	72
3.3.4	两尾检验与一尾检验	73
3.4	样本平均数的假设检验	74
3.4.1	单个样本 (one-sample) 平均数的假设检验与 SPSS 实现	74
3.4.2	两个样本平均数的假设检验与 SPSS 实现	76
3.5	参数的区间估计	81
3.5.1	总体平均数 μ 的区间估计	81
3.5.2	两个总体平均数差数 $\mu_1 - \mu_2$ 的区间估计	82
3.6	统计假设检验中应注意的问题	83
	复习思考题	84
第4章	方差分析	86
4.1	单因素方差分析的基本原理	86
4.1.1	各处理重复数相等的方差分析	86
4.1.2	各处理重复数不相等的方差分析	92
4.2	单因素方差分析应用实例与 SPSS 实现	93
4.3	两因素方差分析的基本原理	96
4.3.1	两向分组单独观察值试验的方差分析	96
4.3.2	两向分组有相等重复观察值试验的方差分析	97

4.4	两因素方差分析应用实例与 SPSS 实现	99
4.4.1	两因素单独观察值试验结果的方差分析方法	99
4.4.2	两因素有重复观察值试验结果的方差分析方法	103
4.5	两因素随机区组试验方差分析的基本原理	108
4.5.1	设计方法	108
4.5.2	设计特点	108
4.5.3	平方和与自由度分解	109
4.5.4	注意事项	110
4.6	两因素随机区组试验结果的方差分析与 SPSS 实现	110
4.7	方差分析的基本假定和数据转换	114
4.7.1	方差分析的基本假定	114
4.7.2	数据转换	115
	复习思考题	116
第 5 章	回归与相关	119
5.1	一元线性回归	119
5.1.1	直线回归方程的建立	119
5.1.2	直线回归系数的假设检验	121
5.1.3	用直线方程预测及控制	123
5.1.4	假设检验	124
5.1.5	直线回归应用实例与 SPSS 实现	125
5.2	一元线性相关	128
5.2.1	决定系数与相关系数	128
5.2.2	相关系数的假设检验	129
5.2.3	直线相关实例与 SPSS 实现	129
5.2.4	应用直线回归与相关的注意事项	131
5.3	多元线性回归	133
5.3.1	多元线性回归方程的建立	133
5.3.2	多元线性回归方程的假设检验	135
5.3.3	回归方法选择	136
5.3.4	多元线性回归实例与 SPSS 实现	137
5.4	多元相关与偏相关	141
5.4.1	多元相关	141
5.4.2	偏相关	142
5.4.3	多元相关实例与 SPSS 实现	143
5.5	曲线回归	146
5.5.1	曲线回归分析概述	146
5.5.2	曲线回归分析应用实例与 SPSS 实现	146
	复习思考题	149
第 6 章	非参数统计	151
6.1	χ^2 检验	152
6.1.1	χ^2 的定义及分布	152
6.1.2	适合性检验与 SPSS 实现	153
6.1.3	独立性检验与 SPSS 实现	155
6.2	符号检验	159
6.2.1	符号检验的步骤	159
6.2.2	大样本的正态化近似	159
6.2.3	符号检验实例与 SPSS 实现	159
6.3	符号秩和检验	161

6.3.1	符号秩和检验的步骤	161
6.3.2	大样本的正态化近似	161
6.3.3	符号秩和检验实例与 SPSS 实现	161
	复习思考题	162
第 7 章	正交试验设计	164
7.1	正交试验简介	164
7.1.1	正交试验设计的意义	164
7.1.2	正交表	164
7.2	正交试验设计的基本步骤	168
7.2.1	明确试验目的, 确定考核指标, 挑因素, 选水平	168
7.2.2	选择合适的正交表	168
7.2.3	进行表头设计	168
7.2.4	排出试验方案	169
7.3	正交试验的结果分析	170
7.3.1	直观分析法 (极差分析法)	170
7.3.2	方差分析法与 SPSS 实现	171
	复习思考题	181
第 8 章	回归的正交设计	182
8.1	一次回归正交设计与统计分析	182
8.1.1	一次回归正交设计的一般方法	182
8.1.2	一次回归正交设计实例与 SPSS 实现	184
8.2	二次回归正交组合设计与统计分析	188
8.2.1	二次回归组合设计	189
8.2.2	正交性的实现	191
8.2.3	二次回归正交组合设计的一般方法	193
8.2.4	二次回归正交组合设计实例与 SPSS 实现	193
	复习思考题	200
第 9 章	SPSS 统计图形	201
9.1	概述	201
9.2	交互式图形的制作与编辑	202
9.2.1	交互式图形的制作	202
9.2.2	交互式图形的编辑	204
9.3	普通统计图形的制作与编辑	208
9.3.1	普通统计图形的制作	208
9.3.2	普通统计图形的编辑	212
附录 A	213
附录 B	216
参考文献	240

第 1 章 试验设计概述

教学目标

1. 熟悉科学试验的特点和要求。
2. 明确食品试验研究的主要内容，试验设计的基本要求和注意事项以及试验设计的基本原则。
3. 熟练掌握下列基本概念：试验的指标、因素和水平，总体与样本，参数与统计量，准确性与精确性，随机误差与系统误差，算术平均数，中数，众数，几何平均数，调和平均数，极差，方差，标准差，变异系数。
4. 掌握试验设计的基本原则和要求。
5. 能正确的拟定试验计划和方案。

1.1 试验设计的历史与发展

试验设计来源于科学试验与统计学的发展与结合，在科学发展史中，试验科学的思想体系一直推动着科学技术的进步与发展，正是由于人类不断认识、实践、再认识从而创造了灿烂的文化。

我国历史悠久，公元前 1 世纪前汉后期的《汜胜之书》是我国现存历史上最早的一部农书，该书中提出的区种法就孕育着农业科学试验的思想。区种法开头就指出：“昔汤有旱灾，伊尹为区田，教民粪种，负水浇稼，收至亩百担。胜之试为之，收至亩 40 担”。区种法田间布置分为宽幅点播和方形点播两种，如区种大豆，相距 0.4m，1 行 9 株等，它是农业栽培园田化的创始，也是农业田间试验的起源，它孕育着田间试验设计思想。

20 世纪初英国生物统计学家费歇 (R. A. Fisher) 从理论与实践上发展和丰富了统计学，将试验设计方法应用于农业、生物学、遗传学等方面，取得了丰硕的成果。试验设计法首先在英国的罗隆姆斯台特农业试验站被应用于田间试验设计上。据报道，当时由于英国采用了试验设计法，使农业大幅度增产。1925 年费歇在《研究工作中的统计方法》一书中，把这种方法称为“试验设计”。后来，费歇进一步试验研究并在此基础上总结试验设计技术和方法，在 1935 年出版了他的专著《试验设计》，从此开创了一门新的应用技术学科。

二十世纪三四十年代，英国、美国、前苏联等国继续对试验设计法进行研究，并将此法逐步推广到工业生产领域中，在采矿、冶金、建筑、纺织、机械、医药等行业都有所应用。

第二次世界大战期间，英美等国在工业试验区采用试验设计法取得显著效果。二次大战结束后，英国皇家军需工厂管理局出版了一个备忘录，公布了一批应用实例。战后，日本把试验设计作为质量管理技术之一，从英美引进。

1949 年，以田口玄一博士为首的一批研究人员，在日本电讯研究所 (ECL) 研究电话通讯设备的系统质量时发现，在农业生产中应用的试验设计技术，不论是全因素试验法，还是拉丁方和希腊拉丁方等在工业生产中应用都受到限制。于是，田口玄一等在实践中努力研究和改进英国人的试验设计技术，创造了用正交表安排分析试验的正交试验法。

1952 年，田口玄一在日本东海电报公司，运用 $L_{27} (3^{13})$ 正交表进行正交试验取得了成功。这之后，正交试验设计法在日本的工业生产中得到迅速推广。据统计，推广正交试验

设计法的头十年，试验项目超过 100 万，其中三分之一的项目效果十分显著，获得极大的经济效益。日本电讯研究所研制“线形弹簧继电器”时，运用正交试验设计技术，对数十个特性值 2000 多个变量进行研究，经过七年的努力取得了成功，制造出比美国先进的产品。这一产品本身只有几美元，而设计研制费用花去了几百万美元，但研究成果给该所带来了几十亿美元的利益。几年之后，他们的竞争对手美国西方电器公司（Western Electric）不得不停产，转而从日本引进这种先进的继电器。在日本，试验设计技术已成为企业界人士、工程技术人员、研究人员和管理人员必备的技术，已成为工程师们共同语言的一部分。

我国从 20 世纪 50 年代开始，中国科学院数学研究所的研究人员开始研究试验设计这门学科，并逐步应用到工农业生产中。20 世纪 60 年代末，中国科学院系统研究所数学室的研究人员，在正交试验设计的观点、理论和方法上都有所创新，创造了简单易懂、行之有效的正交试验方法，1973 年以来，研究和推广正交试验设计方法又有了很大进展，在正交理论的研究上有了新的突破，许多科研和生产单位应用试验设计解决了不少实际生产中的关键技术问题，取得显著效果。如上海高压油泵厂生产的 32MPa 高压轴向柱塞泵，起初由于摩擦衬的结构参数配合不当，经常发生“异常发热”的质量问题，通过试验设计找到了适宜参数组合，使成品校验合格率由原来的 69% 提高到 90% 以上。

1.2 食品试验研究的主要内容

作为一个食品企业，为了试制新产品、改革旧工艺、降低物料消耗、不断提高产品质量，往往需要进行大量的试验。试验的目的是为了找出在某种条件下最合理的工艺条件或设计参数，从而提高产品质量或工程质量。可见，产品质量与对此产品进行的试验研究有密切的关系。可以这样说，开发新产品时所进行试验的范围和程度决定了产品质量的提高程度。

食品质量研究包括线性质量研究（linear quality research）和非线性质量研究（no-linear quality research）。线性质量研究是指食品制造过程中的质量研究方法，线性质量研究方法是通过对生产工序的合理诊断、调节、改善与检查，使生产工序的质量达到效果好、费用低的目的。非线性质量研究方法的重点是在食品开发过程中紧密地把专业知识和统计分析结合起来，在保证达到食品质量特性的前提下，充分利用各种设计参数与食品特性的非线性关系，通过系统设计、参数设计和允许误差设计的三段优化设计方法，从设计上控制食品的输出特性和质量波动或出于经济考虑，在不压缩原材料质量波动的情况下仍然保证食品特性的一种稳定性优化设计方法。

食品科学研究的内容相当广泛，仅就食品质量研究而言，从研究的类型和阶段来看，可分为以下几方面。

（1）研究初期阶段的探索性试验 研究初期阶段的探索性试验主要有简单试验设计、筛选试验。简单试验设计的主要目的是明确某因素的作用，如对照试验、比较试验等。筛选试验的主要目的是在众多试验因素中明确关键因素或优良水平，如单因素的多水平试验和少量水平（2 个）的多因素试验（混杂设计、不完全区组设计、均匀设计和正交设计等）。

（2）研究中期阶段的析因试验 研究中期阶段主要是多因素试验分析，以深入分析主要因素的作用及其相互关系，如拉丁方设计、交替设计、裂区设计和正交设计等。

（3）研究后期阶段的优化试验 研究后期阶段，其目的是研究少数关键因子及其相互作用关系而进行优化设计，如模型试验、建立最优模型的回归设计、优化配方的配方设计等。

1.3 试验设计的基本要求和注意事项

（1）用系统工程思想指导试验设计 随着科学技术的发展，系统工程学等已经成为解决

各类复杂问题的新思想、新方法与新手段。所谓系统，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。按系统思想来分析事物，利用适当的数学模型来表达系统内部、系统与环境、系统与系统之间定性定量的关系，并求出适宜方案，就是所谓的系统分析。将系统分析得到的结论付诸实施就是系统工程学。就某个食品新产品的开发而言，从其规划、设计到产出、上市销售，不仅其系统内部各阶段环环紧扣、相互联系，而且与其外在的社会、经济、技术及自然资源和条件等因素均有着不同程度的纵横交错的关系。所以，围绕该产品的开发所进行的一系列试验研究绝不能孤立进行，必须贯穿系统工程思想于始终。

(2) 认真实施试验设计 试验设计阶段应明确试验的目的性，研究设计的周密性与科学性。要具体回答好3个问题，即：为什么做、怎么做、做到什么程度的问题。

试验阶段要严格控制试验条件的一致性，确保操作的正确性，具体可从操作者、材料、方法、管理方面着手。

在检查阶段，抓好样本的代表性，判断数据的可靠性。要做到真实、合理、可靠、可信。

在处理阶段，要分析结果的可信性，考察结论的重演性。要手、心、脑并用。通过分析掌握信息、论证假设、判断总体，指导实践。

(3) 试验设计应注意的问题

① 试验目的是否明确。没有明确的目的，就谈不上科学周密的设计。未经设计的试验是无用的试验。对课题缺乏深刻的认识，就难以明确试验的目的。而明确目的的有效方法就是不断追问“为什么？”，亦即不断沿着“原因何在”的疑问思路，一追到底。

② 试验设计是否合理。进行每一个试验都要有整体观念、系统思想，要把其当作“整机”的“零件”，要考虑到组装的需要。宁愿将已经设计的试验不予实施，也不能将未经设计或不符合整体设计要求的试验匆忙“上马”。为试验而做试验，毫无意义。

③ 试验管理是否严格。试验设计就是对整个试验进行科学管理。要有严格按照设计进行试验的习惯，把试验全过程置于严格管理状态之下。试验管理的重点是控制条件、规范操作和准确地获取数据。

④ 试验数据是否准确可靠。收集、记录试验数据要坚持实事求是，不要有意无意地让数据染上主观的色彩，对于本质上具有“意外”意义的数据非但不能舍弃，相反更需要加以详细记录，以便分析。

1.4 指标、因素与水平

1.4.1 试验指标

通常，我们把试验设计中根据试验目的而选定的用来考察或衡量试验效果的特性值称为试验指标。试验指标可以是数量指标、质量指标、成本指标和效率指标等。

试验指标可分两大类，一类是定量指标，也称数量指标，它是在试验中能够直接得到具体数值的指标，如硬度、质量、吸光度、成本、合格率、呼吸强度等；另一类是定性指标，或称非数量指标，它是在试验中不能得到具体数值的指标，如颜色、味道、光泽、手感、图面清晰度等。在试验设计中，为了便于分析试验结果，一般把定性指标进行量化处理，例如，可把色泽按不同深度分成不同等级。

试验指标可以是一个，也可以同时有几个。前者称单指标试验设计，后者称多指标试验设计。不论单项指标还是多项指标，都是以专业为主决定的，并且要尽量满足试验设计的要求，指标值应从本质上表现出某项性能，尽量不要用几个重复的指标值表示某一性能。试验

指标应尽量采用计量数据，因为这些计量数据有利于设计参数的计量分析。当采用计数数据时，应特别注意数据处理的特点。

1.4.2 试验因素

通俗地说，对试验指标可以有影响的原因或要素称为因素（factor）。因素也称作因子，它是在试验中重点考察的内容，因素一般用大写英文字母 A、B、C…来标记，如因素 A、因素 B、因素 C 等。

在确定试验因素时，必须以专业知识和生产实践经验为基础，应尽可能列出与研究对象有关的各种因素，然后判断出哪些是需要试验研究的因素。

试验因素分为控制因素和非控制因素，前者称可控因素，后者称不可控因素。所谓可控因素指人们可以控制和调节的因素，如加热温度、水果蔬菜贮藏温度、贮藏环境中的气体成分、发酵温度、酶促反应温度等；不可控因素指人们暂时不能调节控制的因素，如机床的轻微震动、刀具的轻微磨损等。

按因素的作用可把其分为可控因素、标示因素、区组因素、信号因素和误差因素。

(1) 可控因素 可控因素（controllable factor）指可以调节控制的因素，是试验研究主要的调查对象。具体地说，可控因素是为了使其本身的波动、其他因素的波动以及误差的影响等达到综合衰减、缩小以及消除而选用的因素。例如，在进行果品蔬菜贮藏保鲜试验时，贮藏温度、贮藏环境中的气体成分和相对湿度等参数是可以预先控制和给定的，并且可以根据要求改变，这些因素称为可控因素。

(2) 标示因素 所谓标示因素（indicative factor），一般指不能轻易改变或选择的因素，简言之，就是维持环境和使用条件的水平，但不能选择水平的因素。对这些因素的研究往往着眼于与可控因素交互作用的关系。例如，原材料种类、机械设备的使用条件以及环境条件、老化特性、时间变化特性等，其水平本身虽然在技术上已属确定，但不能选择与控制。例如有两台机床，已知其质量的优劣和精度的高低，但劣质机床的精度是无法提高的，而又不能停止使用它。在这种情况下，只好高精度零件用优质机床加工，低精度零件用劣质机床加工，无选择余地。属于标示因素的有以下几种。

① 产品的各种使用条件。例如，想以低速、中速、高速的各个水平去调查汽车操纵性时，保持这三个速度的因素就是标示因素；想以暗、一般、明亮三个水平调查彩色电视机的色相平衡时，这三个亮度水平也是标示因素。

② 时间。例如，劣化时间、试验时间、使用时间等都是标示因素。

③ 品种。例如，想同时试验研究若干种产品的功能质量时，这若干种产品就是标示因素。

④ 机械设备的差别，操作人员的差别等也都是标示因素。

(3) 区组因素 所谓区组因素（block factor），是指持有水平，但在技术上不能指定水平，同时在不同时间、空间还可能影响其他因素效应的因素。它与主效应和交互作用无关，是为减少试验分析误差而确定的因素。例如，在加工某零件时，如果由不同操作者、不同班次使用不同原材料批号，在不同环境条件下，在不同的设备上进行，则这些人员、班次、原材料批号、环境、条件、设备等就是区组因素。

(4) 信号因素 所谓信号因素（signal factor），是为了实现人们的某种意志，或为了实现目标值所要求的结果而选取的因素。具体地说，信号因素是在目的特性值的平均值与目标值不一致时，为使平均值接近目标值而进行校正的因素。例如，对染色工艺来说，为取得一定的着色度，可通过改变染料用量与配比来实现，这时，配比与用量就是信号因素。

选择什么因素作为信号因素，是设计研究人员、管理人员的自由，但不能任意决定。由

于信号因素是对目的特性值与目标值偏差进行校正的因素，因而信号因素必须具有水平，并且易于改变水平值。同时，信号因素对目的特性值的影响应是线性关系，以保证校正易于进行。

(5) 误差因素 所谓误差因素 (error factor)，指除可控因素、标示因素、区组因素、信号因素外，对目的特性值有影响的其他所有因素的集合。换言之，影响产品质量、工序质量发生波动的内外干扰的总和，就是误差因素。当所选因素中未提出标示因素时，误差因素也包括环境条件所产生的影响。

1.4.3 因素的水平 (level of factor)

试验设计中所选定的因素所处的状态和条件变化，可能引起指标特性值的变化，我们将各因素变化的各种状态和条件，即每个因素要比较的具体状态和条件称为水平，水平在数学上又称位级。确定水平与因素一样应以专业技术指导为主导，并注意以下几点。

(1) 水平宜取三水平为宜 这是因为因素取三水平试验结果分析的效应图分布多数呈二次函数，二次函数有利于呈现试验结果的趋势。如因素取两水平试验结果的效应图分布是线性的，只能得到因素水平的效果趋向，很难区分最佳区段，这对整个试验分析是不利的。

在充分发挥专业技术实践经验的前提下确定因素水平，就可能将水平取在最佳区域中或接近最佳区域，按这样的因素水平做试验的效率会高些；当对所研究的因素水平知之甚少时，可能将因素水平取不到最佳区域附近，则需要把水平区间拉开，尽可能使最佳区间包含在拉开的水平区间内。然后通过 1~2 次试验逐渐缩小水平区，求出其最佳条件。当认为所求出的最佳条件可靠性不太满意时，还可以进一步试验验证，通过寻找和计算，求出二次函数的最大值。

(2) 选取水平应按等间隔原则 选取水平应按等间隔原则，这样便于效应曲线的计算分析。水平的间隔宽度由技术水平、技术知识范围所决定。水平的等间隔一般是取算术等间隔值。在某些特殊场合下也可以取对数等间隔值。由于技术上的限制，在取等间隔区间时可能有差值，设计时，可以把这个差值尽可能取得小一些，一般不超过 20% 的间隔值。

(3) 水平是具体的 所谓水平是具体的，指的是水平应该是可以直接控制的，并且水平的变化要能直接影响特性值有不同程度的变化。例如，贮藏温度变化对果实的呼吸作用有很大影响，为了研究不同温度条件对果实呼吸作用的影响程度，可以将贮藏温度设定为 0℃、4℃、8℃，这就是一种具体的水平。

水平通常用 1, 2, 3, … 表示。

1.5 试验设计的基本原则

在试验设计中，为了尽量减少试验误差，就必须严格控制试验干扰。所谓试验干扰，是指那些可能对试验结果产生影响，但是在试验中未加以考察，也未加以精确控制的条件因素。例如，试验材料的不均匀，仪器设备和试验操作人员的不同，试验周围环境、气候、时间的差异与变化等。这些干扰的影响是随机的，有些是事先无法估计、试验过程中无法控制的。为了保证试验结果的精确度，各种试验组合处理必须在基本均匀一致的条件因素下进行，应尽量控制或消除试验干扰的影响。

在食品生产、科学研究和经营管理中，虽然运用的试验方法类型很多，但它们都应遵循一些基本原则，这些基本原则包括重复原则、随机化原则和局部控制原则。通常，人们把这三个原则称为费歇三原则。

(1) 重复原则 (principle of repetition) 所谓重复，是指在试验中每种处理至少进行 2 次以上。重复试验是估计和减小随机误差的基本手段。

由于随机误差是客观存在和不可避免的，若某试验条件下只进行 1 次试验，则无法从 1 次试验结果估计随机误差的大小。只有在同一条件下重复试验，才能利用同一条件下取得的多个数据的差异，把随机误差估计出来。由于随机误差有大有小，时正时负，随着试验次数的增加，正负相互抵偿，随机误差平均值趋于零。因此，多次重复试验的平均值的随机误差比单次试验值的随机误差小。

一般而言，重复次数越多越好。但随着重复次数的增加，不仅试验费用几乎成倍增加，而且整个试验所占用的时间、空间范围也会增大，因而试验材料、环境、仪器设备、操作等试验条件的差异，也必然随之加大，由此引起的试验误差反而会增大。为了避免这一问题，要在同时遵循下面要讲的“局部控制原则”的前提下进行重复试验。重复次数过多效果并不好。重复试验的目的是估计和减小随机误差。

(2) 随机化原则 (principle of randomization) 所谓随机化原则，就是在试验中，每一个处理及每一个重复都有同等的机会被安排在某一特定的空间和时间环境中，以消除某些处理或其重复可能占有的“优势”或“劣势”，保证试验条件在空间和时间上的均匀性。

随机化可有效排除非试验因素的干扰，从而正确、无偏地估计试验误差，并可保证试验数据的独立性和随机性，以满足统计分析的基本要求。随机化通常采用抽签、摸牌、查随机数表等方法来实现。

(3) 局部控制原则 (principle of local control) 局部控制是指在试验时采取一定的技术措施方法减少非试验因素对试验结果的影响。

做一项试验，总是希望试验条件（除试验因素以外的所有其他条件）基本上保持一致。这样得到的试验结果才可以直接用于分析试验因素对试验指标的影响情况，因素的不同水平之间才具有可比性。反之，如果除了试验因素外，试验条件也同时发生变化，就会引入系统误差，这时就不能确定试验指标的变化究竟是由于试验因素引起的，还是由于试验条件的变化引起的。这就干扰了对试验结果的分析。那么如何使试验条件基本保持一致呢？

我们知道，任何一项试验，都是在一定的时间、空间范围（简称时空范围）内进行的，而不同时间、空间范围内的试验条件是有差异的。试验次数越多，所占的时间、空间范围就越大，试验条件之间的差异也就越大。反之，试验时空范围越小，试验条件就越均匀一致。如果我们把一项试验的时空范围划为几个小的范围——区组，使得每个区组内试验条件尽可能均匀一致，每个区组内各项处理的试验顺序随机安排。这样，每个区组内的试验误差减小，区组间试验条件的差异虽较大，但可用适当的统计方法来处理。这样安排试验的方法称为局部控制，也称局部管理。

实施局部控制时的区组如何划分，应根据具体情况确定。如果日期（时间）变动会影响试验结果，就可以把试验日期（时间）划分为区组；如果试验空间会影响试验结果，可把空间划为区组；如果全部试验用几台同型号的仪器或设备，考虑仪器或设备间差异的影响，可把仪器或设备划为区组；如果若干操作人员分做全面试验，考虑他们的操作技术、固有习惯等方面的差异，可把操作人员划分为区组等。前面曾提到重复试验可以减小随机误差，但随着重复的增多，试验规模加大，试验所占的时空范围变大，试验条件的差异也随之加大，这又会增加试验误差。为了解决这一矛盾，可以将时空按重复数分为几个区组，实施局部控制。

以上所述重复原则、随机化原则和局部控制原则是试验中必须遵守的原则。与相应的统计分析方法配合使用就能够无偏地估计处理的效应，最大限度地降低并无偏地估计试验误差，从而对各处理间的比较做出可靠的结论。试验设计三原则间的关系如图 1-1 所示。

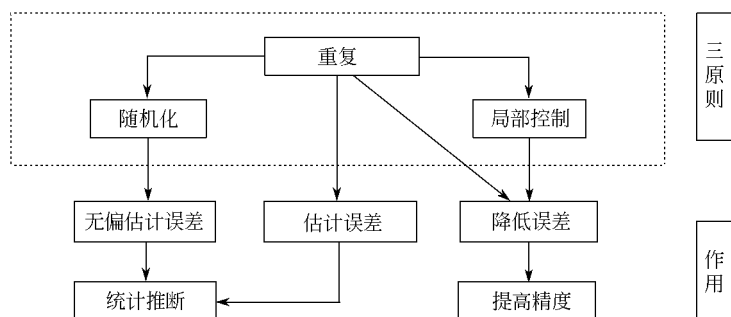


图 1-1 试验设计三原则间的关系

1.6 常用术语、统计量及其计算

1.6.1 常用术语

(1) 总体与样本 根据研究目的确定的研究对象的全体称为总体 (population), 其中的一个研究单位称为个体 (individual), 依据一定方法由总体抽取的部分个体组成的集合称为样本 (sample)。例如, 研究某企业生产的一批罐头产品的单听质量 (重量), 该批所有罐头产品单听质量 (重量) 的全体就构成本研究的总体; 从该总体抽取 100 听罐头测其单听质量, 这 100 听罐头单听质量 (重量) 即为一个样本, 这个样本包含有 100 个个体。含有有限个个体的总体称为有限总体 (finite population)。例如, 上述一批罐头总体虽然包含的个体数目很多, 但仍为有限总体。包含有无限多个个体的总体叫无限总体 (infinite population)。例如, 在统计理论研究中服从正态分布的总体、服从 t 分布的总体, 包含一切实数, 属于无限总体。在实际研究中还有一类假想总体。例如, 用几种工艺加工某种产品的工艺试验, 实际上并不存在用这几种工艺进行加工的产品总体, 只是假设有这样的总体存在, 把所得试验结果看成是假想总体的一个样本。样本中所包含的个体数目叫样本容量或样本大小 (sample size), 例如, 上述一批罐头单听质量的样本容量为 100。样本容量常记为 n 。通常 $n < 30$ 的样本叫小样本, $n \geq 30$ 的样本叫大样本。

统计分析通常是通过样本来了解总体。这是因为有的总体是无限的、假想的, 即使是有限的但包含的个体数目相当多, 要获得全部观测值需花费大量人力、物力和时间; 或者观测值的获得带有破坏性, 如苹果硬度的测定, 不允许对每一个果实进行测定。研究的目的是要了解总体, 然而能观测到的却是样本, 通过样本来推断总体是统计分析的基本特点。为了能可靠地从样本来推断总体, 这就要求样本具有一定的含量和代表性。只有从总体随机抽取的样本才具有代表性。所谓随机抽样 (random sampling) 是指总体中的每一个个体都有同等的机会被抽取组成样本。然而样本毕竟只是总体的一部分, 尽管样本具有一定的含量和代表性, 但是通过样本来推断总体也不可能百分之百的正确。有很大的可靠性, 但也有一定的错误率是统计分析的又一特点。

(2) 参数与统计量 为了表示总体和样本的数量特征, 需要计算出几个特征数。由总体计算的特征数叫参数 (parameter); 由样本计算的特征数叫统计量 (statistic)。常用希腊字母表示参数, 如用 μ 表示总体平均数, 用 σ 表示总体标准差; 常用拉丁字母表示统计量, 如用 \bar{x} 表示样本平均数, 用 S 表示样本标准差。总体参数由相应的统计量来估计, 如用 \bar{x} 估计 μ , 用 S 估计 σ 等。

(3) 准确性与精确性 准确性 (accuracy) 也叫准确度, 指在调查或试验中某一试验指

标或性状的观测值与其真实值接近的程度。设某一试验指标或性状的真实值为 μ ，观测值为 x ，若 x 与 μ 相差的绝对值 $|x - \mu|$ 小，则观测值 x 准确性高；反之则低。

精确性 (precision) 也叫精确度，指调查或试验中同一试验指标或性状的重复观测值彼此接近的程度。若观测值彼此接近，即任意 2 个观测值 x_i 、 x_j 相差的绝对值 $|x_i - x_j|$ 小，则观测值精确性高；反之则低。准确性、精确性的意义如图 1-2 所示。

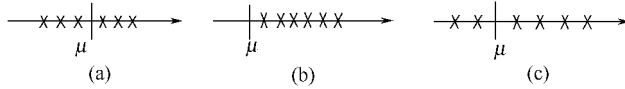


图 1-2 准确性与精确性的关系示意图

(a) 图中观测值密集于真实值 μ 两侧，其准确性高，精确性亦高；(b) 图中观测值密集于远离真实值 μ 的一侧，准确性低，精确性高；(c) 图中观测值稀疏地散布于远离真实值 μ 的两侧，其准确性、精确性都低

调查或试验的准确性、精确性合称为正确性。在调查或试验中应严格按照调查或试验计划进行，准确地进行观测记录，力求避免人为差错，特别要注意试验条件的一致性，除所研究的各个处理外，其他供试条件应尽量控制一致，并通过合理的调查或试验设计努力提高试验的准确性和精确性。由于真实值 μ 常常不知道，所以准确性不易度量，但利用统计方法可度量精确性。

(4) 随机误差与系统误差 在食品科学试验中，试验指标除受试验因素影响外，还受到许多其他非试验因素的干扰，从而产生误差。试验中出现的误差分为两类，即随机误差 (random error) 与系统误差 (systematic error)。随机误差也叫抽样误差 (sampling error)，这是由于许多无法控制的内在和外在的偶然因素如原料作物的生长条件、生长势的差异、管理措施等所造成，这些因素尽管在试验中力求一致但不可能绝对一致。随机误差带有偶然性质，在试验中，即使十分小心也难以消除。随机误差影响试验的精确性。统计上的试验误差指随机误差，这种误差愈小，试验的精确性愈高。系统误差也叫片面误差 (lopsided error)，这是由于供试对象的品种、成熟度、病程等不同；食品配料种类、品质、数量等相差较大；仪器不准、标准试剂未经校正，药品批次不同，药品用量以及种类不符合试验计划的要求等引起。观测、记录、抄录、计算中的错误等也将引起误差，这种误差实质上是错误。系统误差影响试验的准确性。图 1-2(b)、图 1-2(c) 所表示的情况，就是由于出现了系统误差的缘故。一般说来，只要试验工作做得精细，系统误差容易克服。图 1-2(a) 表示克服了系统误差的影响，且随机误差较小，因而准确性高，精确性也高。

1.6.2 描述中心趋势的统计量

(1) 算术平均数 算术平均数 (arithmetic mean) 是指观察值的总和除以观察值个数所得的商值，常用 \bar{x} 、 \bar{y} 等表示。即

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1-1)$$

式中， Σ 为总和符号 (读作 sigma)， $\sum_{i=1}^n x_i$ 为从第 1 个观察值 x_1 累加直到第 n 个观察值 x_n ，若在意义上已明确时，则 $\sum_{i=1}^n x_i$ 可简记为 Σx_i 。算术平均数是描述样本数据中心趋势最常用的统计量，因为它具有计算简便、稳定的优点。

① 算术平均数的计算。算术平均数的计算可根据样本含量大小及分组情况而采取不同

的方法。

a. 直接法。当样本含量较小（一般指样本含量 $n < 30$ ）时，未经分组的资料可用式(1-1) 直接计算平均数。

如利用表 1-1 资料计算 100 听罐头每听净重的算术平均数。

$$\bar{x} = \sum x_i / n = (342.1 + 340.7 + 348.4 + \dots + 341.0) / 100 = 344.0(\text{g})$$

\bar{x} 即 100 听罐头单听净重的算术平均数为 344.0g

表 1-1 100 听罐头样品的净重

单位: g

342.1	340.7	348.4	346.0	343.4	342.7	346.0	341.1	344.0	348.0	344.2	342.5	350.0
346.3	346.0	340.3	344.2	342.2	344.1	345.0	340.5	344.2	344.0	341.1	345.6	345.0
343.5	344.2	342.6	343.7	345.5	339.3	350.2	337.3	345.3	358.2	341.0	346.8	344.3
344.2	345.8	331.2	342.1	342.4	340.5	350.0	343.2	347.0	340.2	343.3	350.2	346.2
344.0	353.3	340.2	336.3	348.9	340.2	356.1	346.0	345.6	346.2	342.3	339.9	338.0
340.6	339.7	342.3	352.8	342.6	350.3	348.5	344.0	350.0	335.1	339.5	346.6	341.1
340.3	338.2	345.5	345.6	349.0	336.7	342.0	338.4	343.9	343.7	343.0	339.9	347.3
341.1	347.1	343.5	348.6	347.2	339.8	344.4	347.2	341.0				

b. 加权法。对于已分组的资料，可以在次数分布表的基础上采用加权法计算，计算公式为：

$$\bar{x} = \sum f_i x_i / \sum f_i \quad (1-2)$$

式中， f_i 为各组次数； x_i 为各组组中值。

各组的次数是权衡各组中值在资料中所占比重大小的数量，因此， f_i 被称为 x_i 的“权”，加权法也由此而得名。

② 算术平均数的特性

a. 样本各观察值与平均数之差的和为零，即离均差（deviation from mean）之和等于零。即

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) = 0$$

b. 样本中各观察值与平均数之差的平方和（sum of squares）为最小，即离均差平方和为最小。即

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 < \sum_{i=1}^n (x_i - a)^2 \quad (\text{常数 } a \neq \bar{x})$$

以上两个性质可以用代数方法予以证明，这里从略。

对于总体而言，通常用 μ 表示总体平均数。有限总体的平均数为：

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (1-3)$$

式中， N 为总体所包含的个体数。

统计上常用样本平均数 \bar{x} 作为总体平均数 μ 的估计值。并定义：当一个统计量的数学期望值等于相应总体参数值时，称该统计量为其总体参数的无偏估计。统计学已证明，样本平均数 \bar{x} 是总体平均数 μ 的无偏估计。

(2) 中数 将样本数据（假设有 N 个数）按升序或降序排列，如果 N 为奇数，则数列中间的数为中数（median）；如果 N 为偶数，则中数为居中两数的均值，中数不如算术平均数稳定，即在同一总体中取相同大小的不同样本时，中数的变化比算术平均数大。但中数不受极值的影响，因而在经济统计中应用较多。