

试验设计与统计方法

◎ 辛淑亮 主编



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

试验设计与统计方法

主 编 辛淑亮

副主编 张恩盈 郭新梅 洪永聪

参 编 辛 伟 裴玉贺 江绪文

主 审 宋希云



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书系统介绍了试验设计与统计分析的原理和方法,在说明样本次数分布的基础上,引申到总体的概率分布和抽样分布,重点讲解统计推断、次数资料的检验方法、方差分析、线性回归分析、曲线回归分析、统计表和统计图、均匀设计与分析等,用计算机解决试验设计与统计分析的难题。

本书适合于高等院校农学、植物保护、园艺、茶学、设施等专业的师生及相关专业的科技工作者参考使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

试验设计与统计方法 / 辛淑亮主编. —北京: 电子工业出版社, 2015.8
ISBN 978-7-121-26644-7

I. ①试… II. ①辛… III. ①试验设计 ②统计分析 IV. ①O212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 161545 号

策划编辑: 赵玉山

责任编辑: 康 霞

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 17.75 字数: 454 千字

版 次: 2015 年 8 月第 1 版

印 次: 2015 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 3000 册 定价: 38.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zits@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010)88258888。

前 言

根据应用型人才培养目标和要求，我们编写了这本特色教材。

本书系统介绍了试验设计与统计分析的原理和方法，内容由浅入深，概念清楚，原理正确，方法得当。在简单说明描述统计-样本次数分布的基础上，引申到总体的概率分布和抽样分布，重点讲解统计推断、次数资料的检验方法、方差分析、线性回归分析、曲线回归分析等，用计算机解决统计分析的计算难题。编写了“辛氏秒算法”等统计软件，简单实用。新编教材创立了“间接标记字母法”等统计学的新方法，对一般统计书没有的单侧置信区间给出了清晰的讲解。选用科研实例讲解，如第9章的荏梨和柿子等都是鲜活的试验数据。设计了几个讨论命题，说明一个问题的几种解法，以达到活学活用、举一反三的目的。

本书第1~3章由张恩盈编写，第4~6章由郭新梅编写，第7~8章由洪永聪编写，第9章由辛伟编写，第10~12章、附表由辛淑亮编写，裴玉贺编写了部分英文术语，江绪文对部分文字进行修改，全书由辛淑亮负责统稿。请宋希云教授审阅。

由于时间仓促，水平有限，书稿还存在许多不足，请各位读者指正，以便日后修订改正。

辛淑亮

2015年6月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 科学研究与科学试验	1
1.1.1 生物学领域的科学研究	1
1.1.2 科学试验的基本程序	1
1.1.3 现代生物统计学的作用	2
1.1.4 生物统计学的学习方法和要求	3
1.2 试验的基本方法	3
1.2.1 试验的特点和要求	3
1.2.2 试验方案	4
1.3 试验误差	7
1.3.1 试验误差的特点和意义	8
1.3.2 试验误差的分类及来源	8
1.4 试验统计学的发展	9
习题 1	9
第 2 章 试验资料的整理和特征数	10
2.1 试验资料的收集和类型	10
2.1.1 试验资料的收集	10
2.1.2 试验资料的类型	11
2.2 试验资料的整理	11
2.2.1 总体和样本	11
2.2.2 次数分布	12
2.3 试验资料特征数的分类与计算	16
2.3.1 平均数	16
2.3.2 变异数	20
习题 2	22
第 3 章 理论分布与抽样分布	24
3.1 概率的概念及计算	24
3.1.1 概率的概念	24
3.1.2 概率的计算	26
3.2 几种常见的理论分布	27
3.2.1 二项式分布	27
3.2.2 泊松分布	30
3.2.3 正态分布	31
3.3 抽样分布	36

3.3.1	统计数的抽样及其分布参数	36
3.3.2	正态总体抽样的分布规律	41
3.3.3	二项总体的抽样分布	42
3.3.4	卡方分布	43
3.3.5	F 分布	44
习题 3		46
第 4 章	统计推断	47
4.1	统计推断概述	47
4.2	统计假设检验的基本原理	47
4.2.1	假设检验的概念	47
4.2.2	假设检验的基本步骤	48
4.2.3	两尾检验与一尾检验	49
4.2.4	假设检验的两类错误	51
4.3	总体平均数的假设检验	51
4.3.1	单个总体平均数的假设检验	51
4.3.2	两个总体平均数的假设检验	53
4.4	百分数的假设检验	60
4.4.1	单个百分数(成数)的假设检验	60
4.4.2	两个百分数的假设检验	61
4.4.3	百分数假设检验的连续性矫正	62
4.5	参数的点估计与区间估计	64
4.5.1	参数估计的基本原理	65
4.5.2	参数的区间估计	65
习题 4		69
第 5 章	卡方 χ^2 检验	70
5.1	χ^2 检验的原理与方法	70
5.1.1	χ^2 检验的定义	70
5.1.2	χ^2 检验的方法	71
5.1.3	χ^2 检验的步骤	71
5.2	方差同质性检验	72
5.2.1	单个方差的假设检验	72
5.2.2	几个方差的同质性检验	73
5.3	适合性检验	75
5.3.1	各种遗传分离比例的适合性检验	75
5.3.2	次数分布的适合性检验	76
5.4	独立性检验	78
5.4.1	2×2 表的独立性检验	78
5.4.2	$2 \times c$ 表的独立性检验	79
5.4.3	$r \times c$ 表的独立性检验	80
习题 5		81

第 6 章	方差分析	83
6.1	方差分析的原理和方法	83
6.1.1	方差分析的基本原理	83
6.1.2	方差分析的数学模型	83
6.1.3	平方和与自由度的分解	84
6.1.4	F 假设检验	87
6.2	多重比较	88
6.2.1	最小显著差数法	88
6.2.2	最小显著极差法	90
6.2.3	多重比较结果的表示方法	92
6.2.4	多重比较方法的选择	93
6.3	方差分析的基本假定和数据转换	94
6.3.1	方差分析的基本假定	94
6.3.2	数据转换的方法	95
习题 6		96
第 7 章	试验设计和抽样调查	97
7.1	试验设计	97
7.1.1	试验设计的基本原则	97
7.1.2	常用的试验设计	98
7.2	抽样调查	106
7.2.1	抽样调查的设计	106
7.2.2	抽样调查中样本容量的估计	109
习题 7		110
第 8 章	试验结果的统计分析	111
8.1	对比法设计试验结果的直观分析	111
8.2	间比法设计试验结果的直观分析	113
8.3	完全随机设计试验结果的方差分析	114
8.3.1	单因素完全随机设计试验结果的方差分析	114
8.3.2	二因素完全随机设计试验结果的方差分析	118
8.4	随机区组设计试验结果的方差分析	126
8.4.1	单因素随机区组设计试验结果的方差分析	126
8.4.2	二因素随机区组设计试验结果的方差分析	129
8.5	拉丁方设计试验结果的方差分析	132
8.6	裂区设计试验结果的方差分析	134
8.7	条区设计试验结果的方差分析	138
8.8	系统分组设计试验结果的方差分析	143
8.9	正交设计试验结果的方差分析	147
习题 8		149
第 9 章	直线回归和相关分析	152
9.1	相关的概念	152

9.2	直线回归	152
9.2.1	直线回归方程	152
9.2.2	直线回归的假设检验	156
9.2.3	总体直线回归的区间估计	159
9.2.4	直线回归方程的应用	160
9.3	直线相关	162
9.3.1	相关系数和决定系数	163
9.3.2	相关系数的假设检验	164
9.3.3	总体相关系数的区间估计	167
9.4	直线回归和相关的关系及应用要点	169
9.4.1	直线回归和相关的关系	169
9.4.2	直线回归和相关的关系及应用要点	169
	习题 9	170
第 10 章	曲线回归和相关分析	171
10.1	曲线回归的类型	171
10.1.1	能够化为直线的曲线回归方程	171
10.1.2	多项式曲线回归方程	173
10.2	曲线回归分析	173
10.2.1	能够化为直线的曲线回归分析	173
10.2.2	多项式曲线回归分析	178
10.3	曲线相关	180
10.3.1	相关指数	180
10.3.2	相关指数的假设检验	181
	习题 10	183
第 11 章	多元回归和相关分析	184
11.1	多元回归	184
11.1.1	多元线性回归方程	184
11.1.2	多元回归关系的假设检验	187
11.2	多元相关和偏相关	189
11.2.1	复相关系数及其假设检验	189
11.2.2	偏相关系数及其假设检验	189
11.2.3	偏相关系数和简单相关系数的关系	190
11.3	多元回归中自变数的相对重要性——通径分析	191
11.3.1	通径系数的意义	191
11.3.2	通径系数的计算	191
11.3.3	通径系数的性质	192
11.4	多元非线性回归分析	192
	习题 11	194
第 12 章	均匀设计和结果分析	195
12.1	均匀设计简介	195

12.1.1	均匀设计的意义	195
12.1.2	均匀设计的操作步骤	196
12.1.3	均匀设计的注意事项	196
12.2	均匀设计表	196
12.2.1	相等水平的均匀设计表	197
12.2.2	混合水平的均匀设计表	198
12.3	均匀设计和结果分析	198
12.3.1	均匀设计的试验方案	198
12.3.2	均匀设计的结果分析	200
习题 12		200
附表 1	10 000 个随机数字表	201
附表 2	累积正态分布 $F(u_i) = P(u \leq u_i) = \int_{-\infty}^{u_i} \phi(u)du$ 表	206
附表 3	正态离差 u_α 值表 (两尾)	208
附表 4	t 分布表 (两尾)	209
附表 5	5% (上) 和 1% (下) F 值表 (一尾)	211
附表 6	χ^2 值表 (右尾)	222
附表 7	学生氏全距多重比较 5% (上) 和 1% (下) q 值表 (两尾)	223
附表 8	Duncan's 新复极差检验 5% (上) 和 1% (下) SSR 值表	225
附表 9	二项分布的 95%(上)和 99%(下) 置信区间	227
附表 10	r 和 R 的 5% 和 1% 显著值表	230
附表 11	z 和 r 值转换表	231
附表 12	百分数反正弦 ($\arcsin\sqrt{y}$) 转换表	232
附表 13	正交表	235
附表 14	均匀设计表	242
附录 A	英汉术语对照表	252
参考文献		274

第1章 绪 论

1.1 科学研究与科学试验

1.1.1 生物学领域的科学研究

现代生物统计学是应用数理统计的原理及方法来分析和解释生物界数量现象的科学，也可以说是数理统计在生物学研究中的应用，它是应用数学的一个分支，属于生物数学的范畴。现代生物统计学紧密结合生物学科研究，生物科学研究是人类认识自然、改造自然、服务社会的原动力。农业科学作为生物学的分支，对于推动人类认识生物界，促进人们发掘新的农业技术和措施，不断提高农业生产水平，改善人类生存环境具有重要的意义。生物学领域中与农业生产有关的专业包括农学、园艺、草业、植物保护、生物技术、农业资源与环境等学科。

现代生物统计学的研究内容包括统计理论、统计方法和试验设计。统计理论阐述统计分析的理论和有关公式，以满足统计方法的需要，旨在通过统计分析对客观事物得出本质的和规律性的认识。试验设计是试验工作前应用统计理论，制订科学的试验方案和合理的统计分析方法。试验研究工作开展前进行试验设计，制订试验方案，可以利用较少的人力、物力和时间，获得更多更可靠的信息资料，从而得出科学的结论。生物统计与试验设计是不可分割的两部分，试验设计需要以统计的原理和方法为基础，而正确设计的试验又为统计方法提供丰富可靠的信息，两者紧密结合才能得出较为客观的推断结论，从而不断推进生物科学研究的发展。

1.1.2 科学试验的基本程序

1. 科学试验

科学试验的目的在于探求新的知识、理论、方法和技术。农业科学领域中科学试验主要包含基础性研究和应用性研究：基础性研究在于揭示新的知识、理论和方法；应用性研究则在于获得某种新的技术或产品。

2. 科学研究的基本方法

科学研究的基本过程均包括3个环节：根据本人的观察（了解）或前人的观察（通过文献）对所研究的命题形成一种认识或假说；根据假说所涉及的内容安排相斥性的试验或抽样调查；根据试验或调查所获得的资料进行推理，肯定或否定或修改假说，从而形成结论，或开始新一轮的试验以验证修改完善后的假说，如此循环发展，使所获得的认识或理论逐步发展、深化。

科学研究的基本方法如下：

① 选题、查文献、提出假说 科学研究的基本要求是探索、创新。研究课题的选择决定了该项研究创新的潜在可能性。不论理论性研究还是应用性研究，选题时必须明确其意义或

重要性，理论性研究着重看所选课题在未来学科发展上的重要性，而应用性研究则着重看其对未来生产发展的作用和潜力。科学的发展是累积性的，每一项研究都是在前人建筑的大厦顶层上添砖加瓦，首先要登上顶层，然后才能增建新的层次，文献便是把研究工作者引到顶层，掌握大厦总体结构的通道。科学文献随着时代的发展越来越丰富，文献索引是帮助科学研究人员进入某一特定领域进行广泛了解的重要工具。选题要有文献的依据，设计研究内容和方法更需文献的启示。

假设只是一种尝试性的设想，即对于所研究对象的试探性概括，在它没有被证实之前，绝不能与真理、定律混为一谈。一项研究的目的和预期结果总是和假说相关联的，没有形成假说的研究，常常是含糊的、目的性不甚明确的。简单的假说只是某些现象的概括；复杂的假说则要进一步假定出各现象之间的联系，这种联系可能是平行的，也可能是因果的，甚至还可能是类推关系。例如进行若干个外地品种与当地品种的比较试验，实际上已经作出了假说，即“某地引入种可能优于当地对照种”，只不过这类研究的假说比较简单而已。

② 假设的检验 对假设进行检验，可以重新对研究对象进行观察和试验（实验），这是直接的检验；也可对假设的推理安排试验进行验证，验证所有可能的推理的正确性，即验证假设本身，这是间接的检验。间接的检验要十分小心，防止出现漏洞。

③ 试验的规划与设计 围绕检验假设而开展的试验，需要全面、仔细地规划与设计。试验所涉及的范围要覆盖假设涉及的各个方面，以便对待检验的假设作出无遗漏的判断。

生物学的试验重视试验结果的代表性和重演性，根据这样的结果可以明确研究结果的适用范围和稳定程度，因此要求试验材料和试验环境具有代表性。设计试验时必须考虑到试验材料和试验环境的代表性和典型性。供试的生物体、试验条件除了因系统的原因有变异外，还有偶然因素所致的变异。试验研究应消除系统变异，减少偶然性变异。试验结果（数据）包含了偶然性波动，要正确地从小数数据中提取结论必须将试验结果与试验的偶然性波动相比较，只有证实试验表现出来的效应显然不是偶然性波动所致，才能合乎逻辑地作出正确的结论。因此在设计试验时必须考虑到可以确切估计出排除了系统误差的试验效应和试验的偶然性误差，从而在两者的比较中引出关于试验对象的结论。农业试验中常将排除系统误差和控制偶然误差的试验设置称为试验设计，这是狭义的理解，广义的理解则是指整个研究工作的设计。

1.1.3 现代生物统计学的作用

现代生物统计学已在生物科学、社会科学领域中得到了极为广泛的应用，其基本作用如下所述。

1. 提供试验设计或调查设计的方法

做任何调查或试验工作，事先须有科学的计划和合理的试验设计，它是决定科研工作成败的一个重要环节。一个好的试验设计，可以用较少的人力、物力和时间，最大限度地获得丰富而可靠的资料，尽可能减小试验误差；利用试验所得的数据能够无偏地估计处理效应和试验误差的估值，正确地收集有代表性的数据资料，以便从中得出正确的结论。

2. 提供整理、分析数据资料的统计方法

进行生物科学研究，可以有计划地收集资料并进行合理的统计分析。通过调查得到的大量杂乱无章的原始数据难以看出规律性，运用生物统计方法对这些数据进行加工整理，使之条理化、系统化，就能从中归纳出事物的内在规律。

判别试验结果的可信性。由于存在试验误差，从试验得到的数据资料必须借助于统计分析方法才能获得可靠的结论。

确定事物之间的相互关系。科学试验的目的，不仅是研究事物的特征、特性，同时还要研究事物间的相互关系的联系形式。

为学习相关学科提供基础。生物科学工作者都须学习和掌握统计方法，才能正确认识客观事物存在的规律，提高工作质量。

生物统计学是从事科学研究必备的一种工具，正确使用这一工具可以使生物科学研究更加有效，生产效益更高，它是每位从事生物科学研究工作者必须掌握的基本工具。

1.1.4 生物统计学的学习方法和要求

生物统计学是数学与生物学相结合的一门边缘学科，与生物学的其他学科有很大的不同。它包含的公式很多，在性质上属于生物学领域内的应用数学。因此，在学习过程中首先要弄懂统计学的基本原理和公式，要理解每一个公式的含义和应用条件，可不必深究其数学推导、证明和数学原理；必须结合专业知识，理论联系实际，正确理解生物统计方法的基本原理；应注意培养科学的统计思维方法。生物统计意味着一种全新的思考方法，即从概率的角度来思考问题和分析科学试验的结果，避免绝对的武断结论，或单凭感觉不做检验的简单判断。

生物统计学作为一门工具课，必须勤学多练。上课认真听讲，课后复习并做好作业。只有通过大量的实践和练习，熟练使用函数型计算器操作，学会用计算机处理数据，才能达到掌握和应用生物统计方法的目的及要求。

1.2 试验的基本方法

1.2.1 试验的特点和要求

1. 生物学试验

生物学试验是有一定的研究对象，并根据研究目的，运用一定的手段（仪器、设备等）主动控制、干预研究对象，或控制环境、条件，创造一种典型环境或特殊条件，并在其中探索生命现象及其运动规律的实践活动。试验就是在某种确定的条件下观察所发生的现象。

2. 生物学试验的分类

生物学试验根据试验的精确性和试验环境，可分为实验室试验和田间试验；根据试验的直接目的可分为探索性试验和验证性试验；根据试验研究的质和量，可分为定性试验和定量试验；根据研究的对象，可分为动物、植物（作物）、生化、遗传、微生物等试验；根据试验的作用，可分为析因试验、对照试验、模拟试验。

3. 生物试验的基本组成要素

① 试验者：进行试验设计、安排、操作和数据处理的工作者，是生物试验中的认识主体。试验者应具有自觉的能动性，主要包括以下几个方面：一是对客观信息要有敏锐的观察和深刻的直接接受能力；二是对试验对象能事先进行透彻的逻辑分析并进行批判性考察的能力；三是具有熟练的试验操作技能。试验者是试验的设计者和操作者，因此，试验目的的确定、试验方案的设计、试验仪器的操作、试验结果的处理等，都由试验者来完成。

② 试验对象：在试验中能够接受不同试验处理的独立的试验载体，它是实施试验处理的基本对象，即试验者所要认识的对象。科学研究的成功与否，很大程度上取决于试验对象的选择。选择试验对象通常要考虑以下两点：一是试验的典型性，因为典型的试验对象能揭示一类事物的性质和规律；二是试验对象的简明性，简明的试验对象可以避免许多次要的干扰因素，使要观察的主要特征和现象更加明朗，得以充分显现，并获得可靠的、主要的观察资料和试验数据。孟德尔在发现遗传的分离规律和自由组合规律的过程中，选择豌豆作为杂交试验的试验材料，无疑是他成功的重要因素。

③ 试验手段：是沟通试验者和试验对象的中间环节，通常由试验仪器、设备等客观物质条件构成，其作用表现在两方面：一是试验结果能够准确及时地记录；二是控制、干预试验对象，使之显露出来，为试验者所认识。因此，试验装置的水平，决定了试验所能达到的水平；试验装置的选择、设计和完善程度，是决定试验成败的关键环节。

4. 生物学试验的基本过程

生物学试验的过程并非只是一个操作过程，一个完整的试验过程应当包括试验的准备阶段、试验实施阶段和试验结果的处理阶段。

1) 试验的准备阶段

① 确定试验目的：试验的准备阶段首先要确定该试验究竟要解决什么问题，了解研究这类问题一般采用的方法和解决这一类问题所具备的主客观条件。

② 明确试验原理：确定目的以后，先明确试验所依据的指导理论，而后才能进行试验设计。这种指导理论所要解决的是研究者应当采取什么方法、途径、沿着什么方向去达到试验预定目标。没有这个中间环节，就难以从试验选题过渡到具体的试验设计。

③ 进行试验设计：试验设计是指正式进行科学试验之前，根据一定的目的和要求，运用有关的指导理论，对研究方法和步骤的预先制订。设计试验方案的目的，在于对将要进行的试验工作有一个通盘的考虑，以明确技术路线和具体的实施方法。

2) 试验的实施阶段

试验的实施阶段是按照预定方案，运用实验技能，进行探索和发现的过程。科学试验的成功与否，不仅取决于科学的试验设计，还取决于试验过程中的正确操作、正确观察和正确记录。试验的实施阶段要特别注意严格控制试验条件、细心观察、客观记录和认真分析，以保证试验质量和试验结果的可靠性。

3) 试验结果处理阶段

① 试验数据的计算和整理。

② 试验结果的分析。

③ 试验结果的表达。试验结果的表达形式有表格形式、图形方式和生物摄影，当然也离不开文字表述。

1.2.2 试验方案

试验方案是根据试验目的和要求所拟进行比较的一组试验处理（Treatment）的总称。

1. 试验方案中常用统计术语

1) 试验因素与水平

农业试验研究中，不论农作物还是微生物，其生长、发育以及最终所表现的产量受多种

因素的影响,其中有些属自然的因素,如光、温、湿、气、土、病、虫等,有些是属于栽培条件的,如肥料、水分、生长素、农药、除草剂等。进行试验时,必须在固定大多数因素的条件下才能研究一个或几个因素的作用,从变动这一个或几个因子的不同处理中比较鉴别出最佳的一个或几个处理。被变动并设有待比较的一组处理的因子称为试验因素,简称因素或因子(Factor),用大写字母A、B、C…表示;试验因素量的不同级别或质的不同状态称为水平(Level),试验因素水平可以是定性的,如供试的不同品种,具有质的区别,称为质量水平;也可以是定量的,如喷施生长素的不同浓度,具有量的差异,称为数量水平。数量水平不同级别间的差异可以等间距,也可以不等间距。所以试验方案是由试验因素与其相应的水平组成的,其中包括比较的标准水平。水平数用小写字母a、b、c……表示;因素水平用代表该因素的字母加下标表示,如A因素有3个水平,即 $a=3$,可用 A_1 、 A_2 、 A_3 表示。

2) 试验指标与效应

用于衡量试验效果的指示性状称为试验指标。一个试验中可以选用单指标,也可以选用多指标。例如农作物品种比较试验中,衡量品种的优劣、适用或不适用,需要围绕育种目标考察生育期(早熟性)、丰产性、抗病性、抗虫性、耐逆性等多种指标。当然一般田间试验中最主要的常常是产量这个指标。各种专业领域的研究对象不同,试验指标各异。例如研究杀虫剂的作用时,试验指标不仅要看防治后植物受害程度的反应,还要看昆虫群体及其生育对杀虫剂的反应。

试验因素对试验指标所起的增加或减少的作用称为试验效应(Experimental Effect)。例如,某水稻品种施肥量试验,施氮肥5kg产量为35kg,施氮肥8kg产量为45kg;则在施氮肥5kg的基础上增施3kg的效应即为 $45-35=10$ kg。这一试验属单因素试验,在同一因素内两种水平间试验指标的相差属简单效应(Simple Effect)。在多因素试验中,不但可以了解各供试因素的简单效应,还可以了解各因素的平均效应和因素间的交互作用。

一个因素内各简单效应的平均数称为平均效应,亦称主要效应(Main Effect),简称主效。

两个因素简单效应间的平均差异称为交互作用效应(Interaction Effect),简称互作。它反映一个因素的各水平在另一因素的不同水平中反应不一致的现象。

下面举例说明互作的计算和意义。

例如研究小麦品种在同一试验田、不同种植密度下合理的施肥量(播后追施的化肥量),假设种植密度分两个水平 A_1 、 A_2 ,施肥量分两个水平 B_1 、 B_2 。假定做了4个试验,试验结果数据见表1.1。

表1.1 II中 $36-20=16$ 就是同一 B_1 水平时 A_2 与 A_1 间的简单效应; B 的主效为 $(12+20)/2=16$,这个值也是二个 B 水平平均数的差数,即 $44-28=8$;交互作用为 $(24-16)/2=4$ 。同理, A 固定,可计算 B 水平的简单效应、主效和互作。

将表1.1以图1.1表示,可以明确看到, I中的二直线平行,反应一致,表现没有互作;图1.1 II中 A_2-A_1 在 B_2 时比在 B_1 时增产幅度大,直线上升快,表现有互作,这种互作称为正互作;图1.1 III和IV中, A_2-A_1 在 B_2 时比在 B_1 时增产幅度表现减少或大大减产,直线上升缓慢,甚至下落成交叉状,这是有负互作。

因素间的交互作用只有在多因素试验中才能反映出来。互作显著与否关系到主效的实用性。若交互作用不显著,则各因素的效应可以累加,主效就代表了各个简单效应。在正互作时,从各因素的最佳水平推论最优组合,估计值要偏低些,但仍有应用价值。若为负互作,则根据互作的大小程度而有不同情况。

两个因素间的互作称为一级互作（First Order Interaction）。一级互作易于理解，实际意义明确。三个因素间的互作称为二级互作（Second Order Interaction），其余类推。

表 1.1 $A \times B$ 二因素试验数据（解释各种效应）

试验序号	水平/效应	B_1	B_2	B 简单效应	B 主要效应	$A \times B$ 互作效应
I	A_1	20	32	12	12	0
	A_2	36	48	12		
	A 简单效应	16	16			
	A 主要效应		16			
	$A \times B$ 互作效应					
II	A_1	20	32	12	16	4
	A_2	36	56	20		
	A 简单效应	16	24			
	A 主要效应		20			
	$A \times B$ 互作效应					
III	A_1	20	32	12	8	-4
	A_2	36	40	4		
	A 简单效应	16	8			
	A 主要效应		12			
	$A \times B$ 互作效应					
IV	A_1	20	32	12	2	-10
	A_2	36	28	-8		
	A 简单效应	16	-4			
	A 主要效应		6			
	$A \times B$ 互作效应					

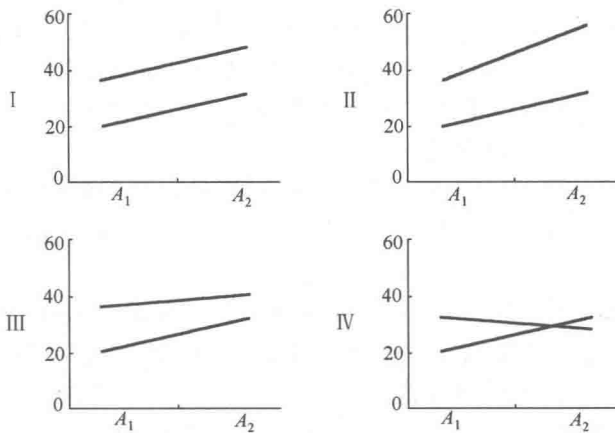


图 1.1 $A \times B$ 二因素试验的图示（解释交互作用）

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值接近的程度。

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。

设某一试验指标或性状的真值为 μ ，观测值为 y ，若 y 与 μ 相差的绝对值 $|y-\mu|$ 小，则观测值 y 的准确性高；反之则低。若观测值彼此接近，即任意二个观测值 y_i, y_j 相差的绝对值 $|y_i-y_j|$ 小，则观测值精确性高；反之则低。准确性、精确性的意义图示如图 1.2 所示。

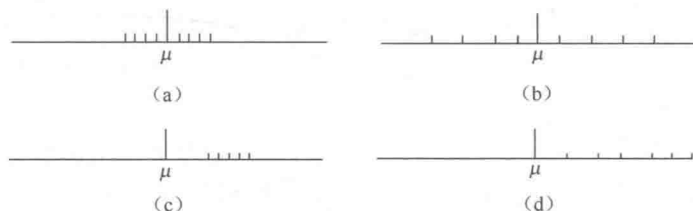


图 1.2 准确度和精确度图示

图 1.2 (a) 观测值密集于真值 μ 两侧，其准确性高、精确性亦高；图 1.2 (b) 观测值稀疏地分布于真值 μ 两侧，其准确性高，精确性却低；图 1.2 (c) 观测值密集于远离真值 μ 的一侧，准确性低，精确性高；图 1.2 (d) 观测值稀疏的分布于远离真值 μ 的一侧，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，准确地进行观测记载，力求避免人为差错，特别要注意试验条件的一致性，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。由于真值 μ 常常未知，所以准确性不易度量，但利用统计方法可度量精确性。

2. 制订试验方案的要点

拟订一个正确有效的试验方案，以下几方面供参考：

① 拟订试验方案前应通过回顾以往研究的进展、调查交流、文献检索等明确试验的目的，形成对所研究主题及其外延的设想，使待拟订的试验方案能针对主题确切而有效地解决问题。

② 根据试验目的确定供试因素及其水平。供试因素一般不宜过多，应该抓住 1~2 个或少数几个主要因素解决关键性问题。每因素的水平数目也不宜过多，且各水平间距要适当，使各水平能有明确区分，并把最佳水平范围包括在内。

③ 试验方案中应包括对照水平或处理，简称对照 (Check, 符号 CK)，以便作为各试验单位共同的比较标准。

④ 试验方案中应注意因素间的唯一差异原则，以便正确地解析出试验因素的效应。

⑤ 拟订试验方案时必须正确处理试验因素及试验条件间的关系。一个试验中只有供试因素的水平在变动，其他因素都保持一致，固定在某一个水平上。

⑥ 多因素试验提供了比单因素试验更多的效应估计，具有单因素试验无可比拟的优越性。但当试验因素增多时，处理组合数迅速增加，要对全部处理组合进行全面试验（称全面实施）规模过大，往往难以实施，因而以往多因素试验的应用常受到限制。解决这一难题的方法就是利用本书后文将介绍的正交试验法和均匀设计，通过抽取部分处理组合（称部分实施）用以代表全部处理组合以缩小试验规模。这种方法牺牲了高级交互作用效应的估计，但仍能估计出因素的简单效应、主要效应和低级交互作用效应，因而促进了多因素试验的应用。

1.3 试验误差

试验误差是试验测量值（包括直接和间接测量值）与真值（客观存在的准确值）之差。

1.3.1 试验误差的特点和意义

1. 特点

① 试验误差普遍存在。不管人们主观愿望如何，也不管人们在测量过程中怎样精心细致地控制，误差还是要产生的，不会消除，误差的存在是绝对的。所有的试验都有误差，误差存在于试验的自始至终。

② 试验误差具有随机性。在相同的试验条件下，对同一个研究对象反复进行多次的试验、测试或观察，所得到的不是一个确定的结果，即试验结果具有不确定性。

③ 试验误差是未知的。通常情况下，由于真值是未知的。研究误差时，一般都从偏差入手。

2. 意义

① 正确认识误差的性质，分析误差产生的原因，尽量减少误差。

② 正确处理测量和试验数据，合理计算所得结果，以便在一定条件下得到更接近于真值的数据。

③ 正确组织试验过程，合理设计仪器或选用仪器和测量方法，以便在最经济的条件下，得到可靠的试验结果。

1.3.2 试验误差的分类及来源

1. 分类

根据试验误差的性质及产生的原因，可将误差分为系统误差、随机误差和过失误差三种：

① 系统误差。由某些固定不变的因素引起，在相同条件下进行多次测量，其误差数值的大小和正负保持恒定，或误差随条件改变按一定规律变化。

② 随机误差。由某些不易控制的随机因素造成，在相同条件下作多次测量，其误差数值和符号是不确定的，时大时小，时正时负，无固定大小和偏向。随机误差服从统计规律，其误差与测量次数有关。随着测量次数的增加，平均值的随机误差可以减小，但不会消除。

③ 过失误差。主要是由于试验人员粗心大意，如读数错误、记录错误或操作失败所致。这类误差往往与正常值相差很大，应在整理数据时依据常用的准则加以剔除。

2. 来源

研究工作者通过试验获得了观测值，其目的是要了解研究对象的真值。若观察值包含了大量的误差便无法由观察值对真值做出估计，因而必须尽量减少误差的干扰。

系统误差是一种有原因的偏差，因而在试验过程中要防止这种偏差的出现。在各种领域的研究工作中系统偏差出现的原因多种多样，难以一概而论，因而要求各领域的研究人员熟知本领域研究中产生系统偏差的常发性因素。导致系统偏差的原因可能不止一个，方向也不一定相同，所以实际观察的系统偏差往往是多种偏差的复合；随机误差是偶然性的，整个试验过程中涉及的随机波动因素愈多，试验的环节越多，时间越长，随机误差发生的可能性及波动程度便越大。随机误差不可能避免，但可以减少，这主要依赖于控制试验过程，尤其那些随机波动性大的因素。不同专业领域有其各自的主要随机波动因素，这同样需要有经验的积累，成熟的研究人员是熟知其关键的。

理论上，系统误差是可以通过试验条件及试验过程的仔细操作而控制的。实际上一些主