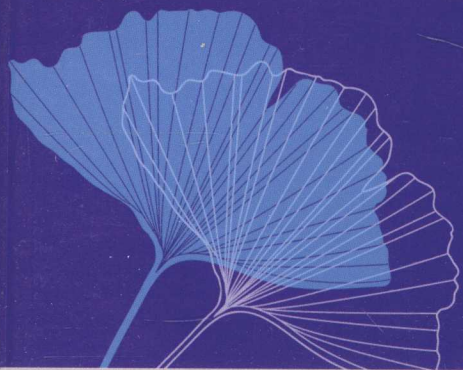


林业试验设计

Experiments Design in Forestry

续九如 李颖岳◎编著

 中国农业出版社

本教材由“北京林业大学研究生教学用书建设项目”和
北京高等学校“青年英才计划”资助(YETP0756)

Experiments Design in Forestry

林业试验设计

续九如 李颖岳 编著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

林业试验设计/续九如, 李颖岳编著. —北京:
中国农业出版社, 2014. 1
ISBN 978-7-109-18772-6

I. ①林… II. ①续…②李… III. ①林业—试验设计 (数学)—高等学校—教材 IV. ①S711

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 318551 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 张 利

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2014 年 2 月第 1 版 2014 年 2 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 16.25

字数: 370 千字

定价: 28.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

· 前 言

Foreword

《林业试验设计》第1版于1995年由中国林业出版社出版，至今已经18年了。作为国内林业领域的第一本研究生、本科生试验设计类专用教材，它在众多林业院校得以使用并受到了欢迎。同时，我们也收获了许多宝贵意见。对于各位同行老师和同学们对本教材的支持、鼓励和关心，我们表示衷心的感谢！

当初编写该教材，主要是面向林学专业。但是后来园林、食品、草业、环境、水土保持、材料科学甚至文科的一些专业也都在选学这门课程。由于应用范围不断扩大，同时随着科学的发展，设计方法和统计分析技术也在不断更新。因此，对本教材重新修订和再版已成为大势所趋。

第1版教材的编著之一黄智慧先生数学功底深厚，黄先生于20世纪末到美国定居，也一直在从事统计工作。但他不幸于2011年在美国病逝，使不少同仁倍感惋惜。此新版的编者之一李颖岳博士是一位年轻的副教授，已连续多年为本科生主讲该课程，并部分承担了研究生课的主讲任务。

从内容上讲，本教材删除了目前基本不再使用的对比法、间比法和格子设计，而对应用前景广阔的回归设计予以重点加强。为便于读者使用，一次回归正交设计、二次回归正交设计、二次回归正交旋转设计和二次回归通用旋转设计等都分步详细介绍了使用方法，并用实例进行了示范。原计划在新版中增加均匀设计，但由于所占篇幅太大，仅附表就要扩大一倍；同时考虑在农林业实际应用中，正交设计已基本能够满足需要，因此权衡再三，决定暂不增加均匀设计。此外，新版教材专门增加了计算机软件在试验数据统计分析中的应用一章。第1版第2章中介绍的美籍华人孔繁浩教授关于在方差分析中随机模型EMS的写法以及多因素混合分组试验自由度和离差平方和的简易算法具有比较强的适用性，也是本教材的特色，均予以保留。

从格式上讲，新版教材基本保留了第1版的章节，在充实内容的前提下尽量少增加篇幅，使本教材简明扼要的风格得以保留，以便于教学使用。

本教材第1、2、9、10、11章由续九如执笔；第3、4、5、6、7、8章由李颖岳执笔；第12章由庞晓明执笔。续九如审阅了全稿。

在本书写作过程中，研究生王岩、金琪、韩建伟等在绘图、打印、校对等方面做了大量的工作；许多听课的本校老师、研究生、本科生也从多个角度提出了合理的建

议。为此，特向所有帮助过我们的人致以诚挚的谢意。

北京林业大学研究生院支持并资助了本教材的出版，特此表示衷心的感谢。

欢迎兄弟院校继续使用本教材。对于本教材中出现的疏漏、不妥之处，恳请专家和读者不吝赐教。

续九如 李颖岳

2013.9.30

目 录

Contents

前言

第 1 章 试验设计基础	1
1.1 试验设计的意义和任务	1
1.2 试验设计学科的历史和发展	1
1.3 试验设计常用的基本概念	2
1.4 试验设计的基本原则	4
1.4.1 重复	4
1.4.2 随机化	4
1.4.3 局部控制	5
1.5 试验误差及其控制	5
1.5.1 试验误差的种类	5
1.5.2 试验误差的控制	5
1.5.3 田间试验的误差控制	6
习题	7
第 2 章 统计分析基础	8
2.1 统计分析常用的基本概念	8
2.2 试验种类及其线性模型	9
2.2.1 单因素试验	9
2.2.2 多因素交叉式分组试验	9
2.2.3 多因素巢式分组试验	10
2.3 方差分析模型及其限制条件	10
2.3.1 固定模型	11
2.3.2 随机模型	11
2.3.3 混合模型	12

2.4 不同试验的方差分析	12
2.4.1 单因素试验的方差分析	12
2.4.2 双因素小区内无重复试验的方差分析	14
2.4.3 双因素多株小区试验的方差分析	15
2.4.4 双因素巢式分组试验的方差分析	18
2.4.5 方差分析中期望均方 (EMS) 的写法	19
2.4.6 多因素混合分组试验的方差分析	20
2.4.7 数据转换	24
2.5 多重比较	25
2.5.1 多重比较的方法	25
2.5.2 多重比较结果的表示方法	29
习题	30
第3章 配对法与完全随机试验设计	32
3.1 配对法设计	32
3.1.1 配对法设计的原理和试验布置	32
3.1.2 配对法设计的统计分析	32
3.1.3 配对法设计的评价	33
3.2 完全随机设计	33
3.2.1 完全随机设计的原理和试验布置	33
3.2.2 完全随机设计的统计分析	34
3.2.3 完全随机设计的评价	37
习题	37
第4章 完全随机区组试验设计	38
4.1 完全随机区组试验设计的原理和方法	38
4.2 单因素完全随机区组设计	39
4.2.1 单因素完全随机区组设计的试验布置	39
4.2.2 单因素完全随机区组的统计分析	40
4.3 多因素完全随机区组设计	42
4.3.1 多因素完全随机区组的试验布置	42
4.3.2 多因素完全随机区组的统计分析	43
4.4 完全随机区组试验设计的评价	56
4.4.1 优点	56
4.4.2 缺点	57
习题	57

第 5 章 拉丁方试验设计	58
5.1 拉丁方简介	58
5.2 拉丁方设计的原理	61
5.3 拉丁方设计的试验布置	61
5.3.1 单拉丁方设计的试验布置	61
5.3.2 多拉丁方设计的试验布置	65
5.3.3 希腊-拉丁方设计的试验布置	65
5.4 拉丁方设计的统计分析	66
5.4.1 单拉丁方的统计分析	66
5.4.2 多个拉丁方的统计分析	72
5.4.3 希腊-拉丁方的统计分析	76
5.5 拉丁方试验设计的评价	78
5.5.1 优点	78
5.5.2 缺点	78
习题	79
第 6 章 平衡不完全区组试验设计	80
6.1 平衡不完全区组设计的参数和条件	80
6.2 平衡不完全区组的试验布置	80
6.3 平衡不完全区组设计的统计分析	82
6.4 平衡不完全区组设计的评价	85
6.4.1 优点	85
6.4.2 缺点	85
习题	86
第 7 章 裂区设计	88
7.1 裂区设计的原理与特点	88
7.2 裂区设计的试验布置	89
7.2.1 裂区设计的方法	89
7.2.2 裂区设计的排列方式	89
7.3 裂区设计的统计分析	89
7.4 裂区设计的评价和应用	96
7.4.1 优缺点	96
7.4.2 裂区设计的应用	97

习题	97
第 8 章 正交设计	98
8.1 正交设计的原理与特点	98
8.1.1 正交的概念	98
8.1.2 正交表	99
8.2 正交设计的试验布置	100
8.3 正交设计的统计分析	102
8.3.1 极差分析	102
8.3.2 方差分析	103
8.4 正交设计的评价	108
8.5 正交表的构造	108
8.5.1 正交表的定义和性质	108
8.5.2 二水平正交表的构造	109
8.5.3 三水平正交表的构造	112
习题	113
第 9 章 析因设计	115
9.1 2^k 析因设计	115
9.1.1 2^2 设计	115
9.1.2 2^3 设计	119
9.1.3 一般的 2^k 设计	122
9.2 3^k 析因设计	122
9.2.1 3^2 设计	122
9.2.2 3^3 设计	127
9.2.3 一般的 3^k 设计	129
习题	129
第 10 章 混杂设计	130
10.1 完全混杂设计	130
10.1.1 2^k 混杂设计	130
10.1.2 3^k 混杂设计	136
10.2 部分混杂设计	141
10.2.1 2^k 部分混杂设计	141
10.2.2 3^k 部分混杂设计	144

10.3 评价	145
习题	145
第 11 章 回归设计	147
11.1 一次回归正交设计	147
11.1.1 设计方法	147
11.1.2 统计分析	148
11.1.3 应用实例	150
11.2 二次回归正交组合设计	154
11.2.1 设计方法	154
11.2.2 统计分析	157
11.2.3 应用实例	160
11.3 回归旋转设计	163
11.3.1 二次回归正交旋转组合设计	163
11.3.2 二次回归通用旋转组合设计	168
11.4 回归设计的发展	173
习题	174
第 12 章 常用统计分析软件介绍	175
12.1 常用统计分析软件简介	175
12.1.1 SPSS	175
12.1.2 Excel	175
12.1.3 SAS 系统	176
12.1.4 DPS	176
12.1.5 JMP	176
12.1.6 R 软件	176
12.1.7 MATLAB	177
12.2 SPSS 软件分析完全随机区组试验数据	177
12.3 SPSS 软件和 DPS 处理正交设计	182
12.3.1 SPSS 软件处理正交设计	183
12.3.2 DPS 处理正交设计	185
12.4 EXCEL 软件处理析因设计	188
12.5 EXCEL 软件进行混杂设计数据分析	190
12.6 SAS 软件进行一次回归正交设计数据分析	192
附表 1 t 分布的双侧分位数 (t_{α}) 表	195

附表 2	F 值表 (方差分析用)	196
附表 3	多重比较中的 q 值表	200
附表 4	Duncan's 新复全距极差测验 5% 和 1% SSR 表	202
附表 5	平衡不完全区组设计表	203
附表 6	正交拉丁方表	219
附表 7	正交表	222
附表 8	正交表构造的运算法则	245
附表 9	百分率换算为角度值表	246
主要参考文献		250

试验设计基础

1.1 试验设计的意义和任务

试验设计 (experiment design) 有广义和狭义两种概念。广义的试验设计是指对试验研究的整体设计, 包括课题名称、试验目的、研究依据、研究内容、预期效果、分析方法、经费预算、效益评估、人员分工、成果鉴定等整个试验计划的拟定; 狭义的试验设计是指对试验布置和统计分析方法的专门考虑。数理统计中的试验设计主要指狭义的试验设计。

试验设计属于科学研究方法的范畴, 它是由试验方法与数学方法特别是数理统计方法相互交叉而形成的一门科学。随着生产的发展和科学技术的进步, 现代科学试验无论是深度、广度以及手段、规模等都发生了深刻的变化, 内容十分丰富, 范围极为广阔, 没有一套科学的试验方法进行指导, 就无法合理地安排研究工作, 也就不会有科学成果的出现和科学技术的发展。所以, 一套科学、合理的试验设计方案是完成科学研究以至推动人类社会生产力发展的前提和先决条件, 试验科学的思想体系一直在推动着科学技术的进步和发展。

试验设计的任务是: 在研究工作进行之前, 根据研究项目的需要, 应用数理统计原理, 结合专业知识和实践经验, 科学、合理、经济地安排试验, 获得最优试验方案; 有效地控制试验误差; 力求用较少的人力、物力、财力和时间, 最大限度地获得丰富而可靠的资料; 充分利用和正确分析试验资料数据, 明确回答研究项目所提出的问题。所以, 能否合理地进行试验设计, 关系到科研工作的成败。

1.2 试验设计学科的历史和发展

我国历史悠久, 公元前 1 世纪前汉后期的《汜胜之书》是我国现存的最早一部农书, 该书提出的区种法就孕育着农业科学试验的思想。区种法田间布置分为宽幅点播和方形点播两种, 它是农业田间试验的起源。

从 15 世纪下半叶到 18 世纪中叶, 随着生产规模的扩大, 人们开始广泛采用试验方法

来研究自然现象。科学史表明,近代自然科学的重大突破,一般不是直接来自生产实践,往往要通过试验这个环节。例如,电磁感应定律的确定、放射性化学元素的发现、青霉素的获得、基因学说的形成等,都不是直接来源于生产,而是试验研究的结果。

1901年, K. Pearson, F. Galton 和 W. F. R. Welldon 创办了《生物统计学》期刊。1908年, W. S. Gosset 提出了 t 检验及小样本理论; R. A. Fisher 自 1919 年起在英国 Rothamsted 农业试验站担任统计工作, 经过 14 年的努力, 先后在试验设计、方差分析、小样本显著性检验及极大似然法方面作出贡献。1925 年他出版的《研究工作者的统计方法》一书标志着数理统计学的开始。也就是在这本书中, 他率先提出了“试验设计”的术语。1935 年他出版的《试验设计》一书标志着试验设计学科的诞生。他在该书中系统介绍了试验设计的原理和方法, 如试验设计的 3 条基本原理: 随机、重复、区域控制; 提出了随机区组设计、拉丁方设计等基本试验设计及其方差分析方法。1939 年 Bose 和 Nair 提出了部分平衡不完全区组设计; 1945 年 D. J. Finney 提出了复因子试验设计的分式方法及裂区混杂设计等。

20 世纪三四十年代, 英国、美国、苏联等国继续对试验设计法进行研究, 并将它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。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试验的正交试验法。1952 年, 他运用 $L_{27}(3^{13})$ 正交表进行正交试验取得了成功。之后, 正交试验设计在日本的工业生产中得到迅速推广, 10 年中就有 100 万个项目, 其中 $1/3$ 的项目效果十分显著, 获得了极大的经济效益。日本电讯研究所运用正交试验设计研制“线性弹簧继电器”, 对数十个特性值 2 000 多个变量进行了研究, 经过 7 年努力, 制造出比美国先进的产品。这一产品本身只有几美元, 设计研制费用花去了几百万美元。而研究成果给该所带来了几十亿美元的效益。几年之后, 他们的竞争对手美国西方电器公司不得不停产, 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。

我国学者范福仁在 1948 年出版了《田间试验之设计与分析》, 比较系统地介绍了试验设计的原理和方法。中国科学院系统研究所数学室的研究人员对正交试验设计的观点、理论和方法进行了深入研究, 创造了简单易懂、行之有效的正交试验方法, 许多科研和生产单位应用试验设计解决了生产中的关键技术问题, 取得了显著效益。

随着试验设计向各学科的渗透, 在不同研究领域形成了一些各具特色的试验设计, 如适用于医学及动物试验的交替设计, 适用于农业的间套作试验设计, 适用于大量处理的格子设计、增广设计, 适用于两个方向控制误差的拉丁方设计、双向区组设计、行列区组设计等。

1.3 试验设计常用的基本概念

试验指标 (experimental index) 在试验设计中, 根据研究目的而选定的用来衡量

或考核试验效果的质量特性称为试验指标。例如，农作物的产量、树木的胸径、树高等。有些指标可以直接用数量表示，称为定量指标；有些指标不能用数量表示称为定性指标，如色泽、口感等，对于这些指标，可以采用评分、划分等级的方法将其转化为定量指标。根据研究目的，在试验设计中，可以只考查一个试验指标，也可以同时考查两个或多个试验指标。

因素 (factor) 在试验中，凡对试验指标产生影响的原因或者要素称为因素，也叫因子。例如，氮肥、磷肥、钾肥都是影响生物产量的因素。

由于条件限制，一次试验不可能把影响试验指标的所有因素都考虑进去，总是选择一部分因素进行研究，这部分因素叫作试验因素，通常用大写字母 A、B、C……表示。把除试验因素以外的其他因素称为条件因素，又叫试验条件。考察一个试验因素的试验叫作单因素试验，考察两个因素的试验叫作双因素试验，考察 3 个或 3 个以上因素的试验叫作多因素试验。

水平 (level) 试验因素所处的某种特定状态或数量等级称为水平。例如，在品种对比试验中，每个品种就是一个水平；在施肥试验中，氮肥有 5 个不同用量就是 5 个水平。各因素水平用代表该因素的字母加上小标 1、2……来表示，如 A_1 、 A_2 ……， B_1 、 B_2 ……

试验处理 (experimental treatment) 按照设计好的因素和水平实施试验时，一个具体的试验措施就叫作试验处理。在单因素试验中，试验因素的一个水平就是一个处理。在多因素试验中，不同因素的不同水平组成了若干个水平组合，又叫处理组合。例如，氮肥的 3 个水平 (A_1 、 A_2 、 A_3) 与磷肥的 2 个水平 (B_1 、 B_2) 可以组成 A_1B_1 、 A_1B_2 、 A_2B_1 、 A_2B_2 、 A_3B_1 、 A_3B_2 共 6 个处理组合。

试验单位 (experimental unit) 在试验中能接受不同试验处理的独立的试验载体叫作试验单位，也叫试验单元。它是试验中实施处理的基本对象。例如在田间试验中的试验小区、医学试验中的小白鼠、医院的病人等。

准确度 (accuracy) 准确度是指在试验中某一试验指标的观测值与其真实值接近的程度，也叫精度。若某一试验指标的真实值为 μ ，观测值为 x ，则 $|x - \mu|$ 小时，准确度高；反之则低。

精确度 (precision) 精确度简称精度，是指在同一试验中试验指标的重复观测值之间彼此接近的程度。如某一试验指标有两个观测值 x_i 、 x_j ，则 $|x_i - x_j|$ 小时，观测精确度高；反之则低。

区组 (block) 在试验中，为了减少非试验因素的干扰，往往把整个试验范围划分为若干个条件比较一致的区域（空间、时间等），在每个区域内安排全部或部分需要比较的处理，这些区域就叫作区组。一般来说，区组内环境条件比较一致，以便于不同处理的对比处于公平的条件下；而区组之间环境条件允许有差异。

小区 (plot) 小区是田间试验时的试验单元，它是接受试验处理的最小载体。在完全随机区组试验中，把每个区组划分为若干个小小区，每个小区安排一个试验处理，因此小小区数就等于处理数；在不完全区组试验中，一个区组只安排一部分处理，因此小小区数小于处理数。

重复 (replication) 在一个试验中, 将一个处理实施在两个或两个以上的试验单位上称为重复。例如, 在田间试验中, 同一因素的同一水平至少应该有两个以上的小区, 亦即两个以上的重复。需要注意的是, 田间试验中在同一个小区内往往有多个植株, 叫作小区内重复, 它与我们这里说的试验的重复不是一个概念。

全面试验 (overall experiment) 对所有处理组合全部给予实施的试验叫作全面试验。全面试验的优点是能够获得最大量的试验信息, 包括各个因素的主效应以及它们之间的交互效应, 无一遗漏。全面试验的缺点是当试验因素和水平较多时工作量太大, 往往难以实施。因此, 全面试验一般只适用于因素和水平均不太多的试验。

部分实施 (fractional enforcement) 部分实施也叫部分试验, 即从全部试验处理中选取部分有代表性的处理进行试验。它是应全面试验无法解决因试验因素和水平数较大时难以实施而发展起来的一种试验方法。例如, 正交设计和均匀设计都属部分实施的试验设计。

1.4 试验设计的基本原则

一个科学、合理的试验设计必须满足以下 3 条基本原则, 这 3 条原则也被称为 Fisher 三原则。

1.4.1 重复

设置重复的主要作用有两个方面:

(1) **估计试验误差** 同一处理的两次重复结果往往表现出一定的差异, 这是由随机干扰因子引起的试验误差。如果每个处理只有一个观测值, 就观察不到这种差异, 也就无法估计试验误差。只有设置重复, 才能估计试验误差。

(2) **降低试验误差** 由于试验材料、环境、仪器设备、操作等试验条件的影响, 一个观察值往往不能精确反映某个处理的效果, 只有用几次重复的平均值才能代表这个处理的真实效果, 避免偶然性影响。数理统计学已经证明, 误差的大小与重复次数的平方根成反比。当重复增加时, 试验误差降低, 精确度提高。

1.4.2 随机化

随机化 (randomization) 是指在试验中, 每一个处理及每一次重复都有同等的机会被安排在某个特定的空间和时间环境中, 以消除某个处理或重复可能占有的“优势”或“劣势”, 保证试验条件在空间和时间上的均匀性。从而降低或消除系统误差, 并保证对随机误差的无偏估计。

随机化是应用数理统计学方法分析数据的前提。如果在试验设计中没有执行随机化的原则, 那么将来对试验结果进行类似方差分析之类的统计学分析是没有意义的。

随机化处理可以采用抽签、摸牌、查随机数表或由计算器、计算机产生随机数字等方法来实现。

1.4.3 局部控制

局部控制 (portion of control) 是指把整个试验范围按照干扰因子划分为若干区组, 使同一区组内的试验单元之间环境条件保持一致, 而区组间的差异可以通过方差分析从试验误差中分离出来, 从而减少试验误差, 增加处理效应估计的精度。

1.5 试验误差及其控制

1.5.1 试验误差的种类

狭义的试验误差是指系统误差和偶然误差, 广义的试验误差还包括疏忽误差。现将三类误差分别介绍如下。

(1) **疏忽误差** 疏忽误差是指明显歪曲测量结果的误差, 实际上属于试验过程中出现的错误, 例如, 量错了试验地的面积、算错了产量、记错了数字、混杂了品种等。这些问题往往影响试验的准确度, 甚至使整个试验报废。在试验过程中, 应该细心谨慎, 避免疏忽误差的发生。

(2) **系统误差** 系统误差 (systematic error) 是指数学期望有偏的误差, 它的特点是在多次重复时试验结果之间的误差按一定规律而变化。产生系统误差的原因是试验中存在着某些恒定的干扰因子, 例如在进行距离测量时皮尺本身不准确; 在田间试验时试验地土壤肥力存在着一个方向的梯度变化等, 这些因素都会影响试验结果, 而且会使误差逐步积累和扩大。

(3) **随机误差** 随机误差 (random error) 也叫抽样误差 (sampling error), 它是由许多无法控制的内在和外在的偶然因素造成的误差, 比如试验材料个体间的差异、量测时不可避免的观测误差、试验材料所处环境的微小变异等引起的误差等。随机误差带有偶然性质, 无论怎样小心谨慎也不可能完全消除。统计学上的试验误差就是指随机误差, 随机误差影响试验的精度, 随机误差越大, 试验的精度越低。如果随机误差大到与真实效应不相上下的程度, 就难以通过试验得出正确的结论了。因此, 在试验中, 应该尽可能采取各种措施减少随机误差, 提高试验的精度。

1.5.2 试验误差的控制

(1) **疏忽误差的控制** 疏忽误差多因工作人员责任心不强或粗心大意而产生。所以, 健全必要的规章制度和培养测试人员的科学态度是克服疏忽误差的关键。在设计试验、实施操作和调查测试的各个环节中, 都应该认真细微地把握好每一个环节, 反复核对, 杜绝差错。一旦在观察值中发现有疏忽误差造成的异常值, 在分析计算时应将其舍弃。

(2) **系统误差的控制** 系统误差可以通过以下途径消除: ①通过随机化处理, 将非试验因子造成的系统误差转化为随机误差。②按照局部控制的原则设置区组, 将环境因素造成的系统误差分解为区组间的差异, 并通过方差分析将其剔除。③设置对照。利用已知结果的标准样品作为对照, 使之与不同的处理进行比较。④测试过程中的系统误差主要来源于测定方法、仪器误差和操作人员三个方面, 可以通过优选测定方法、校正仪器并多次测试

以及培训操作者提高操作水平而将其克服。

(3) 随机误差的控制 随机误差只能减小,不可能完全消除。其减小的途径主要是增加处理的重复数,取其平均值用以估计处理的效应。一般来说,重复数越多,均值的随机误差就越小。但是,误差的大小是和重复数的平方根成反比的,当重复数接近 10 次时,即使再增加重复数,其精确度也无显著性增加。而且,重复数太多必然带来工作量和经济成本的成倍增大,给实际操作造成浪费。

1.5.3 田间试验的误差控制

农业、林业、草业、果树、蔬菜、园林等行业的试验大多是在田间进行的。这些试验具有周期长、非试验因素的干扰多、需要考查的因素多等特点。除了上一节介绍的一般性误差控制措施之外,还有以下一些特殊的技术问题需要注意。

(1) 试验地的选择 为了使试验结果具有典型性,以便将来推广,试验地应该选在气候、土壤等条件有代表性的地段,即试验地应具有试验地区的典型气候、典型地势、典型土壤肥力和理化性状、典型的地下水位等。

试验如果在山区进行,试验地一般应设在同一坡向上,坡度也应基本一致,而不应该把试验地选在沟谷中或山顶上。为了避免自然条件的影响和人畜破坏,试验地不宜太靠近村庄、道路和建筑物。

(2) 小区的面积与形状 小区面积的大小与试验误差的大小直接相关。一般来说,小区面积较大时,小区间土壤肥力较均匀,试验较精确。但小区面积大小与区组大小又有关。根据局部控制原则,区组面积不宜过大,因而小区面积也不能太大。

农业、草业试验的小区一般安排为正方形,最小面积可以到 1m^2 ;林业试验小区的大小,目前尚无统一规定。应根据试验种类、栽培年限、重复次数、土壤肥力差异程度等综合考虑决定。一般来说,树木试验以每小区栽植 1~10 株效率最高,在欧洲也有人主张安排更大的小区。

小区的形状大多采用长方形,有时也用正方形。当试验地肥力呈方向性变化时,采用长方形小区更为适宜。此时,区组长边的方向应与肥力变化方向相垂直,而区组内小区的长边方向应与肥力变化方向相平行。在山地进行试验时,区组的长边应与坡向垂直即平行于等高线,小区的长边则与坡向平行即垂直于等高线。这样安排,可以使区组内各小区间的肥力基本一致。一般来说,小区的长边与宽边的比例以 $(3\sim 10):1$ 为宜。

(3) 小区的重复数 设置重复是试验设计的基本原则之一,有人将重复原理称为现代田间试验的基本原理。因为只有设置重复才能客观地比较各个处理的效果,提高试验的精确度。

田间试验所需要的小区重复数,主要决定因素是土壤差异程度和试验所要求的精度。其次,还要综合考虑处理的数目、试验地面积、小区面积、小区排列方式等。一般来说,在土壤差异不大的地区安排随机区组设计需要 4~6 次重复;土壤差异较大或要求精度较高的试验可安排 8~10 次重复。比较粗放的试验或小区面积较大时也可安排 2~3 次重复。从统计学的观点看,进行方差分析时误差项的自由度最好不小于 12,否则 F_{α} 值很大,难于检验出处理的显著性。