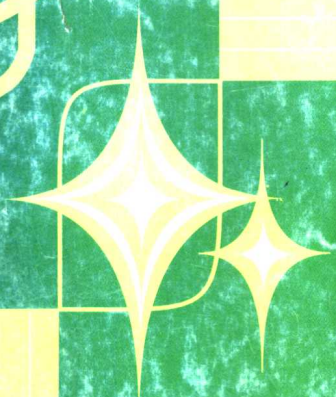




全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定



果树试验 设计及统计

● 果树专业用

● 刘权 主编

中国农业出版社

全国高等农业院校教材

果树试验设计及统计

刘 权 主编

果 树 专 业 用

中 国 农 业 出 版 社

全国高等农业院校教材
果树试验设计及统计
刘 权 主编

责任编辑 李国中

出 版 中国农业出版社
(北京市朝阳区农展馆北路2号)

发 行 新华书店北京发行所

印 刷 中国农业出版社印刷厂

* * *

开 本 787mm×1092mm16 开本

印 张 20 字数 458 千字

版、印次 1997 年 10 月第 1 版

1997 年 10 月北京第 1 次印刷

印 数 1—2,000 册 定价 19.00 元

书 号 ISBN 7-109-04615-X/S·2862

ISBN 7-109-04615-X



9 787109 046153 >

主 编 刘 权 (浙江农业大学)
副主编 马宝焜 (河北农业大学)
编 者 吕均良 (浙江农业大学)
马梦亭 (华中农业大学)
程述汉 (山东农业大学)
主 审 范 濂 (河南农业大学)

内 容 简 介

本书是编者根据多年从事教学科研的经验并参考国内外有关资料编写而成的,系统地阐述了果树试验设计及统计分析的基本原理和方法,集理论与应用于一体。

全书共12章,由浅入深,循序渐进。绪论介绍了本学科的形成发展及地位。第一章介绍了果树试验的特点要求、类型及常用的试验设计。其他章节先后介绍了资料的整理方法、理论分布和抽样分布及统计假设检验、方差分析原理和各种试验设计的方差分析方法、简单相关与回归、曲线回归、多元回归,以及协方差分析,还简要介绍了模糊数学在果树研究中的应用。每章均有习题,并附有参考答案。

本书是高等农业院校果树专业必修课的基本教材,同时也可供果树科技工作者和相关学科的有关人员参考。

前 言

1979年由华中农业大学章文才教授主编的《果树研究法》，是我国第一部关于果树研究方法和试验统计的统编教材。但十多年来，各院校基本上是将该教材内容分为两门课进行教学的，一是果树研究法，二是果树试验设计及统计。为了适应新的形势和各校教学的实际需要，我们根据《果树研究法》第二次教材修订会会议纪要和农业部（1993）农（教）函字第20号“关于下达高等农业院校农科本科1993—1995年度教材编写出版计划及修订教材计划的通知”精神，把原《果树研究法》中试验设计及统计分析的内容独立出来，编写了《果树试验设计及统计》，作为全国高等农业院校果树专业必修课的基本教材。本书由浙江农业大学刘权教授担任主编。

为了做好编写工作，由浙江农业大学园艺系向全国30多所有果树专业的农业院校，发函征求了解有关该课程的教学情况以及对教材的要求和建议，使本教材有了广泛的群众基础。1993年9月在山东农业大学召开了编委会，讨论确定了教材内容大纲、编写人员分工和各章的计划学时数及其篇幅（每学时不超过4000字）。其中绪论及第四、五、六章分别为1、5、3、4学时，由刘权编写；第一章9学时，由马宝焜编写；第二、七、十一章分别为4、3、4学时，由马梦亭编写；第三、八、九章分别为7、7、5学时，由吕均良编写；第十、十二章分别为4、4学时，由程述汉编写。1994年8月，在浙江农业大学召开了定稿会。本教材由河南农业大学范濂教授主审，审稿人员对教材提出了宝贵意见。在教材的编写和定稿过程中，得到了浙江农业大学、山东农业大学等院校的领导和有关部门的关怀和支持，在此一并谨致谢意。

本教材计划授课为60学时，建议安排1周教学实习，结合课程或毕业论文分两阶段进行。从选题选材、确定方案、制订计划，通过取样观测、数据整理和统计分析，直到写出试验报告，使学生有一个系统完整的实习过程。

由于时间仓促、水平有限，本教材从形式到内容都存在着许多缺点和不足之处，恳请广大师生和各方面读者随时指正，以便日后修改。

编 者

1994年12月

目 录

绪 论	1
第一章 果树试验设计技术	3
第一节 果树试验的特点、方法和要求	3
一、果树试验的特点	3
二、果树试验的方法	3
三、果树试验的要求	4
第二节 果树试验方案及种类	5
一、试验方案	5
二、试验种类	7
三、试验方案设计的原则	9
第三节 试验误差及其控制	10
一、试验误差的概念	10
二、试验误差的来源	10
三、试验误差的控制途径	13
第四节 果树田间试验设计	15
一、田间试验设计的原则	15
二、试验小区、重复和区组的设置	16
三、常用的试验设计	22
第五节 取样技术	26
一、样本容量	27
二、取样方法	27
习 题	29
第二章 试验结果资料的整理	31
第一节 次数分布	31
一、试验数据的性质	31
二、次数分布表及其制作	32
三、次数分布图	36
第二节 平均数和变异数	37
一、平均数的意义和种类	37
二、算术平均数的计算方法	38
三、算术平均数的重要特性	40
四、变异数	40
习 题	46
第三章 统计推断	47
第一节 概率和理论分布	47

一、概率的概念及基本运算	47
二、二项分布	49
三、正态分布	52
第二节 若干统计数的分布	55
一、样本平均数的分布	55
二、样本平均数的差数分布	58
三、 t 分布	59
四、卡平方 (χ^2) 分布	61
第三节 统计假设检验	62
一、统计假设检验的一般程序	63
二、统计假设检验的几何意义及两类错误	64
三、单个平均数的假设检验	67
四、两个平均数的假设检验	68
第四节 参数的区间估计	73
一、总体平均数 μ 的区间估计	73
二、两总体平均数差数 ($\mu_1 - \mu_2$) 的区间估计	74
三、二项总体成数 (百分数) P 的区间估计	75
四、一尾检验时 μ 以及 ($\mu_1 - \mu_2$) 的区间估计	76
习 题	77
第四章 方差分析基础	79
第一节 方差分析的基本原理	79
一、平方和与自由度的分解	79
二、 F 分布与 F 测验	82
三、多重比较	84
第二节 单向分组资料的方差分析	88
一、组内观察值数目相等的单向分组资料方差分析	88
二、组内观察值数目不等的单向分组资料方差分析	89
三、组内又分亚组的单向分组资料的方差分析	91
第三节 两向分组资料方差分析	94
一、组内只有单个观察值的两向分组资料方差分析	94
二、组内有重复观察值的两向分组资料方差分析	95
第四节 方差分析的基本假定及数据转换	97
一、方差分析的基本假定	97
二、数据的转换	98
三、期望均方估计	102
习 题	105
第五章 单因素试验结果的方差分析	107
第一节 完全随机设计试验结果分析	107
第二节 随机区组设计试验结果分析	107
一、随机区组设计的方差分析	107
二、随机区组设计的缺区估计及分析	109

第三节 拉丁方设计试验结果分析	112
一、拉丁方设计的方差分析	112
二、拉丁方设计的缺区估计及分析	114
第四节 随机区组与拉丁方设计的线性模型及期望均方	116
一、随机区组的线性模型及期望均方	116
二、拉丁方的线性模型及期望均方	117
习 题	118
第六章 复因素试验结果的方差分析	120
第一节 复因素随机区组试验结果的统计分析	120
一、二因素随机区组试验结果的统计分析	120
二、三因素随机区组试验结果的统计分析	124
三、复因素随机区组试验的线性模型及期望均方	128
第二节 裂区试验结果的统计分析	130
一、二裂式裂区试验结果的统计分析	130
二、多年试验(时间裂区)试验结果的统计分析	133
三、裂区试验的缺区估计	136
四、再裂区及时空裂区试验结果的统计分析	138
五、裂区试验的线性模型和期望均方	140
第三节 多年多点试验结果的统计分析	142
一、多年多点试验的特点	142
二、多年多点试验结果的统计分析	142
第四节 正交试验结果的统计分析	148
一、直观分析法	148
二、方差分析法	151
三、正交试验应注意的问题	153
习 题	154
第七章 计数资料的显著性检验	156
第一节 百分数或成数的显著性检验	156
一、百分数的差异显著性检验	156
二、二项样本显著性检验时的连续性矫正	158
第二节 卡平方(χ^2)检验	160
一、卡平方(χ^2)的概念	160
二、卡平方(χ^2)检验	161
三、卡平方(χ^2)的连续性矫正	161
第三节 适合性检验	162
一、两组资料的适合性检验	162
二、多组资料的适合性检验	164
第四节 独立性检验	165
一、 2×2 表的独立性检验	165
二、 $2 \times c$ 表的独立性检验	167
三、 $r \times c$ 表的独立性检验	167

习 题	168
第八章 直线回归和相关	170
第一节 回归和相关的概念	170
一、回归和相关的理论模型	170
二、回归和相关分析的一般程序	171
三、回归和相关分析的注意事项	172
第二节 直线回归	172
一、直线回归方程	172
二、直线回归的假设检验和区间估计	177
三、直线回归的正确应用	183
第三节 直线相关	183
一、相关系数及其计算	183
二、相关系数的假设检验	189
三、决定系数	191
四、直线相关与回归的关系	192
习 题	194
第九章 曲线回归	196
第一节 曲线的主要类型及其特性	196
一、多项式曲线	197
二、指数及对数曲线	197
三、其他类型的曲线	199
第二节 曲线回归方程的配置	202
一、曲线回归分析的一般程序	202
二、曲线方程 $\hat{y} = ax^b$ 的配置	203
三、曲线方程 $\hat{y} = ae^{bx}$ 的配置	205
四、曲线方程 $\hat{y} = \frac{x}{a+bx}$ 的配置	207
五、Logistic 曲线方程的配置	210
六、概率单位回归曲线方程的配置	213
习 题	218
第十章 多元线性回归	220
第一节 多元线性回归的数学模型	220
第二节 回归系数的估计	221
第三节 多项式的配合法	224
一、多项式回归	224
二、正交多项式的应用	224
第四节 显著性检验	229
一、回归方程的显著性检验	229
二、回归系数的显著性检验	231
三、复相关系数与偏相关系数	232
习 题	235
第十一章 协方差分析	237

第一节 单向分组资料的协方差分析	238
一、乘积和与自由度的分解	238
二、进行误差项 x 与 y 间回归关系的分析	239
三、处理间经回归纠正的方差分析	245
四、处理平均数的回归纠正及纠正平均数的假设检验	246
第二节 两向分组资料的协方差分析	247
一、计算 x 及 y 项的平方和及其乘积和	248
二、进行回归关系显著性检验	250
三、除去回归后处理间的差异显著性检验	250
四、处理平均数的回归纠正及多重比较	251
五、协方差分析时应注意的问题	252
习 题	253
第十二章 模糊数学及其在果树试验中的应用	255
第一节 基本概念	255
一、模糊集合	255
二、模糊集合的截集	256
三、最大隶属原则	256
四、模糊集的运算	257
五、模糊分类关系	258
第二节 模糊聚类	259
一、相似性尺度(度量)	259
二、相似矩阵的构造	260
三、模糊分类矩阵的合成	261
四、模糊聚类	261
第三节 模糊综合评判	264
一、综合评判	264
二、多级综合评判	266
习 题	270
附录	272
附表 1 随机数字表	272
附表 2 正态曲线下一区间的面积(即 $\alpha/2$)	274
附表 3 累积正态分布 $F_N(x)$ 值表	276
附表 4 t 值表(双尾)	278
附表 5 χ^2 (卡平方)表	279
附表 6 5% 与 1% 显著点的 F 值表	280
附表 7 邓肯氏新复极差测验 5% 和 1% SSR 值表	284
附表 8 5% 及 1% q 值表(两尾)	286
附表 9 r 及 R 的显著数值	288
附表 10 百分数反正弦($\sin^{-1}\sqrt{x}$)转换表	289
附表 11 百分率与概率单位 P 转换表	291
附表 12 z 与 r 值转换表	293

附表 13 正交表	294
附表 14 正交多项式表 ($n=2-30$)	302
参考文献	309

绪 论

一、果树试验设计与统计的概念

本书所介绍的统计,是指生物统计。生物统计是应用数理统计学原理来研究生物界数量现象的科学方法,是数理统计与生物科学相结合的应用边缘科学。20 世纪以来,生物统计学的进展,使生物科学和果树学逐渐成为可以用数学方法来处理和研究的科学,这对于加速果树科学研究和促进果树生产的发展起着重要作用。为了取得生物界数量现象和果树生产的有关数据,主要的方法是通过试验(也包括调查)。所以生物统计经常与试验方法,尤其是田间试验方法紧密地结合在一起,促使生物科学、果树学、试验设计以及调查方法不断地完善和发展,进一步促进了生物统计学的发展。

我们在进行生物科学、果树学研究时,往往是通过对某事物的一部分(样本)来估计事物的全体(总体)的特征、特性。也就是从样本推导到总体,从局部推导到一般,从而对研究的总体作出合乎逻辑的推论,得到对事物本质、客观和规律性的认识。例如在果树生产中,一个梨园成年单株产量的资料很庞大,几乎无法记载,只能用抽样方法来计算样本的统计量,用样本的统计量来估计总体的参数。因此,生物统计就某种意义上讲,在生物科学的研究中,是以样本来推断总体的一门科学。

果树试验设计是指在试验研究工作未进行之前,应用生物统计的原理,结合果树的特点来制订合理的试验方案,如正确地选择试验地和试材、进行小区和重复的安排、观察记载的项目和取样方法及数量等,使我们用较少的人力、物力和时间,获得更多而可靠的数据和信息,得出科学结论。不同的设计,各有相应的统计分析方法。试验设计与统计分析既有各自的独立性,又有内在的联系,因此试验设计与统计分析往往是相连在一起的。

二、果树试验设计与统计学科的发展

生物统计是一门新兴的学科。在 19 世纪末,英国遗传学家道尔顿(F.Galton)通过研究人类体高的遗传,发现子女的体高与他们父母平均体高有回归的趋向。这就是以后在数理统计中回归这个术语的由来,因此后人一致公认并推崇他是生物统计学的创始人。

正态分布是生物统计中极为重要的理论之一,早在 1733 年就被迪-摩弗来(De-Moivre)发现,而后被高斯(Gauss)完成,因此又称高斯分布。1899 年皮尔逊(K.Pearson)提出了测定实际数与理论数之间偏离度的卡方(χ^2)测验方法,在属性统计分析中得到广泛的应用。高赛德(W.S.Gosset)是皮尔逊的学生,他对小样本的标准差作了大量研究,于 1908 年用“学生氏”笔名发表在《生物统计学报》上,即“t 检验”,成为当代统计工作的基本内容之一。费雪氏(R.A.Fisher)于 1923 年首先将变异来源不同的均方比值称为 F 值,当 F 值大于理论上 5% 概率水准时的 F 值时,该项变异来源的必然性效应就从偶然性变异中分析出来。这个分析方法称为方差分析,这在生物统计学中已

经广泛应用，特别是他发表的《研究工作者的统计方法》专著后，对促进农业科学、生物学和遗传学起了巨大作用。纽耶曼 (J.Neymen) 和皮尔逊分别在 1936 年及 1938 年，提出了一种统计假设检验学说，这对理论研究和试验研究的结论，具有实用价值。

我国早在 30 年代，生物统计与田间试验已成为当时高等农业院校农艺系的必修课，最早出版的有王绶编著的《实用生物统计法》(1935 年出版，1953 年再版)。在园艺、果树方面则应用较晚，园艺系学生过去都作为选修课。1931 年英国园艺学家霍布林 (Hoblyn) 出版了他的名著《园艺田间试验法》这一早期的名著，他了解生物统计在园艺研究中的重要性，但因为当时生物统计学还不很完善和成熟，因此没有确立统计学在园艺研究中的地位。1953 年霍布林的学生皮尔斯 (S.C.Pearce) 根据其在车茂林试验站工作多年积累的大量材料发表了他的名著《果树及其他多年生作物田间试验》，从而奠定了“果树试验设计与统计”这门学科的基础。到了 1976 年再版时，他进行了大量修改，使其既体现了果树的特点，又把试验设计和统计方法结合起来，成为一门完整的学科。1962 年各高等农业院校开设了“果蔬研究法”课程，其主要内容是田间试验设计和生物统计的基础知识，及一些生物学特性调查。1978 年又分别开设“果树研究法”及“蔬菜研究法”课程。1993 年根据农业部教学指导委员会决定，鉴于十多年来各校实际情况，将“果树研究法”及“果树试验设计与统计”分为二门课程，分别编写教材。

试验设计是本世纪初才提出的，30 年代时用于农业科学试验，因此田间试验技术就成为一门专门学科，以后又扩大应用于生物、医学和工业上。近年来又提出安排多因素的正交试验设计、回归分析以及正交回归设计，在农业科学试验和生产上大量应用，在数据处理、寻求经验公式、探索新工艺、新配方以及预测预报方面都积累了不少经验，获得许多新成果，具有广阔的应用前景。

半个世纪以来，电子计算技术的发展简化了计算过程，数量分类学、模糊数学等许多学科的发展也都促进了果树试验设计与统计学科的发展。

三、果树试验设计与统计学科的地位

果树学是一门应用科学，其实验性很强，无论栽培技术的改进、新品种的选育、果树的土肥水管理技术和植保方面的新技术等，都要首先经过试验，在试验过程中，必须有计划地收集必要的试验数据，经过统计分析和逻辑推理，才能得到确切的结论。但是果树是多年生作物，本身又多用嫁接繁殖，砧穗间又相互影响，植株个体大，根系深，所以试材的本身和环境条件的差异均很大，这就为试验带来了复杂性和长期性。近年来常用盆栽试验，减少了试材的差异，在试验中对环境条件进行控制，但它与田间的实际情况还有一定差异。因此在试验设计时，要尽可能详细周密地安排计划，因为统计分析并不能消除在试验中造成的误差和损失。果树本身的变异性大，就更需要在设计时根据试验的目的和统计学上的要求来制订一个有计划搜集原始数据的具体实施方案，做到必要的数据不丢失，不必要的数

第一章 果树试验设计技术

第一节 果树试验的特点、方法和要求

一、果树试验的特点

1. 果树为多年生作物，寿命长，试验周期长，且易缺区。

果树经济寿命一般至少 10 年，多的达百年，因此试验周期长。例如品种和砧木的比较试验、不同树形试验，都不是 1 年 2 年可以下结论的。果树具有生命周期和年周期两个发育期，不同年龄时期、不同物候期，生长发育都不同，试验的结果就不同，因此果树试验比较复杂。例如氮肥，对刚结果的幼树，易造成枝条旺长，果实品质差，着色不良；而对盛果期树，则能延缓衰老和延长经济结果年限，改善品质。果树有大小年，大年树和小年树的反应也不一样。另外，施肥不仅对当年的生长结果有影响，还会影响到下一年甚至更长，所以果树的试验要延续多年。

由于果树试验的年限长，常会因寒害、风害、病虫害、兽害等，导致植株死亡或残缺，而形成缺株缺区，因而使试验增加了复杂性。

2. 果树的个体大，利用的营养面积大，根系分布深且广，不但受表土影响，也受心土的影响，因此易造成株间差异大，这是果树试验误差比其他作物试验大的主要原因。

此外，病虫害、嫁接苗接口愈合状况、修剪技术等差异都会造成果树株间差异，而且这种影响有持续的特点；相邻植株地上、地下部相互竞争，也会造成株间差异。

3. 果树是砧穗的统一体，大部分果树是嫁接繁殖的。然而，种子繁殖的砧木，遗传变异较大，所以尽可能选无性系砧木或自根树，以减少株间差异。接穗虽常采自同一母株，但是嫁接的芽，在其生长过程中，有芽的异质性存在，所以果树的株间差异较大。

4. 许多果树都是山地栽培和零星栽植，其地形、坡度、坡向和土层深浅、肥力和水分状况，对果树的生长结果均有不同的影响，加大了试验误差。因此，在果树试验时对试验条件如水土保持工程的设施，试验的设计等，较之其他作物复杂。

5. 果树是自身记录器，外界条件的变化，栽培管理水平的差异，对果树生长结果影响，会年复一年、持续地记录在果树的树体上。例如，干周、冠径的大小，是果树多年生长的记录。从果树枝上环痕、果台、节间的长短、不同类型枝条的比例、新梢生长量、芽的大小及饱满程度等，可以了解目前和前几年果树生长结果的状况，充分利用生物学调查法和性状间相关分析，可以简化试验方法，缩短试验年限，也能得到可靠资料。从这个方面看，多年生作物又比一年生作物有特殊优越性。

二、果树试验的方法

果树试验研究的课题很多，涉及的范围很广，有栽培、育种、病虫害、贮藏加工以及

生理生化、生态、分类等方面。但是研究方法不外乎调查研究法、田间试验法和实验室法。科学研究的发展,使研究更要借助于各种仪器的分析测定,才能更具体地说明问题,如组织培养、花芽分化、微型嫁接等,都是在室内进行的,所以实验室的方法占了很重要地位。但是不管怎样,果树生产仍然是在田间进行的,所以一切果树的试验最后离不开田间。调查研究是从群众中来,它具有广泛性又可以解决果树试验中的长期性问题。因此这3种方法各有特点,应结合实际,灵活运用,一般具体到某一个课题中的某一项目,应当以某种方法为主,或某一阶段以那一种方法为主。

(一) 调查研究法 选择具有代表性的条件(包括自然条件及人文条件),通过系统调查,测定记载,分析对比,研究总结出一些规律措施或某项技术。例如果树冻害、风涝灾害调查、产量形成的调查、生物学特性和结果习性的调查、树形和不同修剪方法调查等,一般不需要什么特殊的仪器设备(但是深入分析就不同了)。经常进行的高产优质栽培技术经验总结,是从生产中来,加以概括分析,上升到理论,再推广于生产之中,但是调查总结,要进行分析对比,切不可成为老农座谈的记录,面面俱到,主次不分。此外,对技术经济效益的分析也要加强研究。

(二) 田间试验法 它是在人工控制下,比较各种处理的效果。试验中要自始至终排除各种非处理因素的影响,使试验处理和对照在同样条件下反映出它的效果。为了节省人力、物力和时间,取得更好效果,常有以下3个步骤。

1. 预备试验。规模小,设计要求不严,时间短,只是初步摸索一些问题。如防止落果有几种激素,先摸索一下适应品种范围、浓度、时间及次数,以便在此基础上建立正式试验。

2. 正式试验。这是试验的主要形式,时间较长,有一定的试验设计、方法及若干处理。在正式试验中可分成以下3种:

(1) 小区试验,处理数较多,有一定重复,占地不大,准确性较高。

(2) 生产试验,处理数少,重复不多,在接近生产条件下进行。要求测产,每一处理不少于1000m²,丰产试验不少于3000m²。

(3) 区域试验,选自然条件不同地区(如丘陵红黄壤、海涂滩地、高山台地等),进行试验观察3—5年,是多年、多点、多处理(品种)试验。

(三) 实验室试验 在人工控制条件下,进行物理、化学、生物、数学上的测定分析,也可作为田间试验的辅助手段,如盆栽、水培、砂培、营养诊断、组织培养、光合作用、花芽分化等生理生化的分析,又如孢粉学和病毒上的许多研究、在计算机上进行聚类分析、数量分析、模糊评判等。

三、果树试验的要求

由于果树生产是在田间进行的,因此试验也要求直接在田间近于生产条件下进行。此外试验的结果要尽可能准确可靠,且具有重演性。

(一) 试验的正确性 它包括准确性及精确性两个方面。准确性是指试验样本所得的统计值接近于总体参数,是不容易确定的。精确性指同一处理的试验指标,在不同重复观察中所得数值,彼此接近的程度,它是可以计算的。这与试验中的误差有关,误差越小,

试验越精确。所以在试验中，要尽量避免人为的差错，还要求除处理外的其他条件要一致，否则无法判断造成差异的真正原因，使试验失败。

(二) 试验的代表性 它包括两方面：①试验的条件和将来推广试验结果的条件相似，这主要是指地形、地势、土壤、气候、水利、品种等。②生产组织水平和经济条件也要有代表性。如耕作管理水平、机械等。此外，果树试验是长期的，目前认为一时不可能，但试验结束时，时代的发展，有可能实现。因此，试验要具有超前性。

(三) 试验的重演性 这是指在相似的条件下，进行相似的试验或处理，有相类似的结果。由于果树试验的长期性及复杂性，有时即使在同一条件下，也会有出入，为了保证试验的重演性，首先要保证试验的正确性和代表性，因为重演性是建立在正确性及代表性基础上的。也正因为如此，多年、多点试验的结果才更具有重演性。

另外，试验的目的性要明确，不能笼统含糊，如“桃品种选育及栽培技术研究”，这样就不是1个课题，而是1个项目，其中至少包括了两个大的子课题：一是品种选育，即使这样目的性还是不明确，是鲜食品种还是加工品种，是选早熟还是中、晚熟品种；二是栽培技术，是相配套的是早期丰产，还是成年树连年优质高产也要明确。

第二节 果树试验方案及种类

一、试验方案

试验方案是指用来作比较的一组处理的总称，它反映了试验的基本内容。制订试验方案是根据试验的目的和要求，决定试验的因素和处理水平。

(一) 试验的指标与因素 衡量试验结果好坏或处理效果的大小的标准称为试验指标。如比较品种之间的生产力，衡量的指标是株产量或单位面积产量；又如判断杀虫剂的效果，昆虫死亡率就是试验指标。试验指标是根据试验目的要求制定的。

试验因素或称因子，是指可以影响试验指标的条件。例如比较品种间生产力，施肥量、种植密度、树形等都能影响产量指标；又如昆虫死亡率是试验指标，而药剂种类、浓度、施用时期、次数等均能影响昆虫死亡率，都是试验因素。

(二) 处理与水平 在每一个试验因素中，可以从质或数量的两个方面分成不同的等级称为水平或处理。例如品种是一个因素，从质的方面分，黄花、新世纪、新水、幸水4个品种，就是4个水平；又如施肥量这一因素，则每千平方米施氮，从量上可以为10kg、20kg和40kg，就是3个水平。

某试验因素的各水平与另一因素的各水平相互组合而成的若干个试验组合称处理组合或简称为处理。在单因素试验中，水平数和处理数是一致的。如密度试验以A来表示，有4种密度即 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 为4个水平，也就是4个处理。如果还有一个因素是施肥量B，有3种水平即 B_1 、 B_2 、 B_3 ，则复因素试验共有 $(4 \times 3 =)$ 12个处理组合，它是不同因素的水平数乘积。

(三) 效应与互作 试验的因素与研究的指标，既有相互独立的作用，又有相互联系、相互制约的作用。因素的相对独立作用，也就是因素对指标所起的增进或减少的作用，称为效应。如每公顷施150kg氮肥时，柑桔产量为15000kg；增至250kg时，产量为

25000kg, 则每公顷增施 100kg 氮肥的效应为 $25000 - 15000 = 10000\text{kg}$ 柑桔果实。这里效应就是试验因素的不同水平的产量差异。这是单因素试验, 这一差异称为简单效应。在复因素试验中, 不但可以了解各个因素的简单效应, 还可以了解各个因素的平均效应和相互作用 (简称互作)。举例如下:

〔例 1·1〕 有一施 N、P 二因素试验, N_1 及 P_1 为低水平用量, N_2 和 P_2 为高水平用量, 其处理组合产量如表 1-1。

表 1-1 N 与 P 的效应表

N \ P				
	N_1	N_2	平均	$N_2 - N_1$
P_1	10	16	13	6
P_2	18	28	23	10
平均	14	22		8
$P_2 - P_1$	8	12	10	

1. 如有二个因素, 其中一个因素的水平相同, 另一因素水平不同, 仍然称简单效应。

如 $P_2N_1 - P_1N_1 = 18 - 10 = 8$ 。这是在 N_1 水平下, P_2 与 P_1 的不同, 其效应仍称简单效应, 其值为 8。同理 $P_2N_2 - P_1N_2 = 28 - 16 = 12$ 。这是在 N_2 水平下, P_2 与 P_1 的不同, 其简单效应为 12。

2. 一个因素内各个简单效应的平均数, 称为平均效应, 简称主效。

如 P 的平均效应: $P_2N_2 - P_1N_2 = 28 - 16 = 12$; $P_2N_1 - P_1N_1 = 18 - 10 = 8$; 则在不同的 N_2 和 N_1 水平下, P_2 与 P_1 间的平均差为: $\frac{1}{2} (12 + 8) = 10$, 故 P 的主效应为 10kg。

N 的平均效应: $N_2P_1 - N_1P_1 = 16 - 10 = 6$; $N_2P_2 - N_1P_2 = 28 - 18 = 10$; 则在相同 P_1 和 P_2 的水平下, N_2 与 N_1 之间的平均差为: $\frac{1}{2} (10 + 6) = 8$, 故 N 的主效应为 8kg。

3. 因素内的简单效应的差异称为交互作用, 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, 反应不一致现象。表 1-1 可以看出 P 的平均差异 = $\frac{1}{2} (P_2 - P_1) = \frac{1}{2} (12 - 8) = 2$ 。N 的平均差异 = $\frac{1}{2} (N_2 - N_1) = \frac{1}{2} (10 - 6) = 2$ 。而 $N_1P_1 = 10$ 。因此 $N_1P_1 + P_1(N_2 - N_1) + N_1(P_2 - P_1) = 10 + 6 + 8 = 24\text{kg}$ 。即 N_2P_2 的理论效应为 24kg。而表中的实际数值为 $N_2P_2 = 28\text{kg}$, 比理论值多 4kg, 说明增施 N_2P_2 , 比单独增施 N_2 、 P_2 , 有促进作用, 即能增产 4kg, 这就是 N 和 P 的正交互作用。如假设 $N_2P_2 = 24\text{kg}$, 则为零交互作用 ($24 - 24 = 0$)。如 $N_2P_2 = 20\text{kg}$, 则为负交互作用 ($20 - 24 = -4$)。

以上 N_2P_2 如为 20kg, 为负交互作用, 但仍较单独用 N 增产 6kg, 及单独用 P 增产 8kg 为高, 因 N_2P_2 比 N_1P_1 增产 10kg。在生产上仍有一定价值。如 N_2P_2 小区产量为 14kg, 也是负交互作用, 但比 N_2P_1 16kg, 及 N_1P_2 18kg 产量均低, 则生产上无应用价值。两个因素的互作称一级互作, 易于理解, 有较大的实用意义。对 3 个因素的互作称二