

21 世纪高等院校教材——农林系列

田间试验与统计分析

明道绪 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是根据作物生产类(包括农学、林学、茶学、草学、园艺、生物技术等)本科专业培养目标的要求及课程的学时,选取目前科学研究中常用的、基本的、重要的田间试验设计与统计分析方法,经多所高校著名教师编写而成。全书共11章,包括田间试验资料整理与描述、常用概率分析、 t 检验、方差分析、 χ^2 检验、直线回归与相关分析、多元线性回归与相关分析、协方差分析、正交设计试验资料的方差分析等内容,书末附有常用生物统计方法的SAS程序、统计数学用表及汉英名词对照表。

本书内容循序渐进、由浅入深,每种设计和分析方法都安排有步骤完整、过程详细的实例予以说明,各章后都配备习题供读者练习。

本书可作为全国高等农业院校作物生产类本科生教材,也可供教师及科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

田间试验与统计分析/明道绪主编. —北京:科学出版社,2005
(21世纪高等院校教材——农林系列)

ISBN 7-03-015650-1

I. 田… II. 明… III. ①田间试验-高等学校-教材②农业统计-统计分析-高等学校-教材 IV. S3-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第058639号

责任编辑:周辉 甄文全/责任校对:刘小梅

责任印制:安春生/封面设计:陈敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年8月第一版 开本:787×1092 1/16

2005年8月第一次印刷 印张:19 3/4

印数:1—8 000 字数:449 000

定价:26.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

编 写 者

主 编 明道绪（四川农业大学）

副主编 欧阳西荣（湖南农业大学）

唐章林（西南农业大学）

徐向宏（甘肃农业大学）

马朝芝（华中农业大学）

参编者 （以姓氏笔画为序）

王 奇（吉林农业大学）

毛孝强（云南农业大学）

刘永建（四川农业大学）

刘桂富（华南农业大学）

朱永平（云南农业大学）

季 兰（山西农业大学）

金 凤（内蒙古农业大学）

林 栋（内蒙古农业大学）

周以飞（福建农林大学）

单虹丽（四川农业大学）

曹墨菊（四川农业大学）

前 言

“田间试验与统计分析”是我国高等农业院校作物生产类、林园类、生物技术类等各本科专业和综合大学、师范院校生物学类本科专业及成人教育、网络教育相应本科专业开设的一门重要的专业基础课。它既为田间试验提供基本的、常用的试验设计与资料统计分析的方法，也为“遗传学”、“育种学”等后续课程的学习打下统计学基础。

为了编写一本符合本科培养目标要求的，体现科学性、系统性、实用性、针对性相统一的教材，科学出版社立项由国际生物统计学会会员、四川农业大学明道绪教授主编出版 21 世纪高等院校教材《田间试验与统计分析》。

本教材包括田间试验（欧阳西荣、唐章林编写），资料的整理与描述（王奇编写），常用概率分布（徐向宏编写），显著性检验（周以飞编写），方差分析（明道绪、刘永建编写）， χ^2 检验（朱永平、毛孝强编写），直线回归与相关分析（马朝芝编写），多元线性回归与相关分析（季兰编写），协方差分析（刘桂富编写），试验资料的方差分析（单虹丽、曹墨菊编写），正交设计试验资料的方差分析（林栋、金凤编写）共十一章（选学内容，用“*”注明），并附有常用生物统计方法的 SAS 程序、汉英名词对照表（刘永建编写）及常用统计数学用表。初稿完成后，由主编明道绪教授负责统稿，作了必要的修改与增删。

在教材编写中力求做到循序渐进、由浅入深、深入浅出、简明易懂；在正确阐述重要的统计学原理的同时，着重于基本概念、基本方法的介绍，特别注意学生动手能力的培养和统计分析与计算机科学的结合；每一种设计或分析方法都安排有步骤完整、过程详细的实例予以说明；各章都配备有习题（书后附参考答案）供读者练习。

本教材既可作为我国高等院校开设“田间试验与统计分析”课程的教学用书，对农业和生物科技工作者来说也是一本有重要实用价值的工具书。

本教材在编写过程中参考了有关中外文献和专著，编者对这些文献和专著的作者表示衷心感谢！

限于编者水平，错误、缺点在所难免，敬请生物统计学专家和广大读者批评指正，以便再版时修改。

编 者

2005 年 5 月 18 日

目 录

前 言	
第一章 田间试验	1
第一节 田间试验概述	1
一、田间试验的意义、任务与要求	1
二、田间试验常用术语	3
第二节 田间试验的误差及其控制	5
一、试验误差及其控制	5
二、试验地的土壤差异与试验地的选择	7
三、田间试验设计的基本原则	8
四、控制土壤差异的小区技术	9
第三节 田间试验方案	13
一、田间试验的种类	13
二、拟定试验方案的基本要求	15
三、拟定试验方案的方法	17
第四节 常用的田间试验设计方法	18
一、顺序排列设计	18
二、随机排列设计	22
第五节 田间试验的实施步骤	27
一、田间试验计划的制定	28
二、试验地准备与区划	29
三、种子准备	30
四、播种或移栽	31
五、栽培管理	32
六、田间观察记载和测定	32
七、收获、脱粒和室内考种	33
第六节 田间试验的抽样方法	34
一、典型抽样	35
二、顺序抽样	35
三、随机抽样	36
四、成片抽样	38
习 题	38
第二章 资料的整理与描述	40
第一节 资料的整理	40
一、资料的分类	40

二、资料的检查与核对	41
三、资料整理的方法	41
四、常用统计表与统计图	45
第二节 资料的描述	50
一、平均数	51
二、标准差	55
三、变异系数	58
习 题	58
第三章 常用概率分布	60
第一节 事件与概率	60
一、事件	60
二、概率	61
三、小概率事件实际不可能性原理	63
第二节 概率分布	63
一、随机变量	63
二、离散型随机变量的概率分布	63
三、连续型随机变量的概率分布	64
第三节 二项分布	65
一、伯努利试验及其概率公式	65
二、二项分布的定义及性质	66
三、二项分布的概率计算及应用条件	67
四、二项分布的平均数与标准差	67
第四节 正态分布	68
一、正态分布的定义与主要特征	68
二、标准正态分布	69
三、正态分布的概率计算	70
第五节 样本平均数抽样分布与标准误	74
一、样本平均数抽样分布	74
二、标准误	77
第六节 t 分布、 χ^2 分布与 F 分布	77
一、 t 分布	77
二、 χ^2 分布	78
三、 F 分布	79
习 题	80
第四章 显著性检验	82
第一节 显著性检验的基本原理	82
一、显著性检验的意义	82
二、显著性检验的步骤	83
三、显著水平与两种类型的错误	85

四、两尾检验与一尾检验	86
五、显著性检验应注意的问题	88
第二节 样本平均数与总体平均数差异显著性检验	88
第三节 两个样本平均数差异显著性检验	90
一、非配对设计两个样本平均数差异显著性检验	90
二、配对设计两个样本平均数差异显著性检验	94
第四节 百分率资料的显著性检验	95
一、样本百分率与总体百分率差异显著性检验	95
二、两个样本百分率差异显著性检验	96
三、百分率资料显著性检验的连续性矫正	97
第五节 参数的区间估计	99
一、正态总体平均数 μ 的置信区间	99
二、二项总体百分率 p 的置信区间	100
习 题	100
第五章 方差分析	102
第一节 方差分析的基本原理与步骤	102
一、数学模型与基本假定	103
二、平方和与自由度的分解	104
三、 F 检验	107
四、多重比较	109
* 五、单一自由度的正交比较	115
第二节 单因素完全随机设计试验资料的方差分析	118
一、各处理重复数相等的方差分析	119
二、各处理重复数不等的方差分析	120
第三节 两因素完全随机设计试验资料的方差分析	122
一、两因素交叉分组试验资料的方差分析	122
二、两因素系统分组试验资料的方差分析	137
* 第四节 方差分析处理效应分类与期望均方	141
一、处理效应分类	141
二、期望均方	142
三、方差分量的估计	145
第五节 数据转换	146
习 题	148
第六章 χ^2 检验	152
第一节 χ^2 统计数	152
一、 χ^2 统计数的意义	152
二、 χ^2 连续性矫正	153
第二节 适合性检验	153
一、适合性检验的意义	153

二、适合性检验的方法	154
三、资料分布类型的适合性检验	156
第三节 独立性检验	157
一、独立性检验的意义	157
二、独立性检验的方法	158
习 题	162
第七章 直线回归与相关分析	164
第一节 直线回归分析	165
一、直线回归方程的建立	165
二、直线回归的显著性检验	168
三、直线回归的区间估计	171
第二节 直线相关分析	172
一、决定系数和相关系数	172
二、相关系数的显著性检验	174
三、直线相关分析与回归分析的关系	174
四、进行直线回归与相关分析的注意事项	175
* 第三节 可直线化的曲线回归分析	175
一、曲线回归分析的意义	175
二、曲线回归的直线化	176
习 题	180
* 第八章 多元线性回归与相关分析	181
第一节 多元线性回归分析	181
一、多元线性回归方程的建立	181
二、多元线性回归的显著性检验	186
三、剔除不显著的自变量	190
四、自变量的相对重要性	194
第二节 复相关分析	195
一、复相关系数的意义及计算	195
二、复相关系数的显著性检验	196
第三节 偏相关分析	197
一、偏相关系数的意义及计算	197
二、偏相关系数的显著性检验	200
习 题	201
第九章 协方差分析	202
第一节 协方差分析的意义和功用	202
一、协方差分析的意义	202
二、协方差分析的功用	202
第二节 单因素完全随机设计试验资料的协方差分析	203
第三节 单因素随机区组设计试验资料的协方差分析	210

习 题	214
第十章 试验资料的方差分析	216
第一节 单因素随机区组设计试验资料的方差分析	216
一、数学模型与期望均方	216
二、分析实例	217
三、缺区估计与结果分析	220
第二节 单因素拉丁方设计试验资料的方差分析	222
一、数学模型与期望均方	222
二、分析实例	223
三、缺区估计与结果分析	226
第三节 两因素随机区组设计试验资料的方差分析	227
一、数学模型与期望均方	227
二、分析实例	228
第四节 两因素裂区设计试验资料的方差分析	234
一、数学模型与期望均方	234
二、分析实例	236
三、缺区估计与结果分析	242
习 题	245
第十一章 正交设计试验资料的方差分析	247
第一节 正交设计原理和方法	247
一、正交设计的基本原理	247
二、正交表及其特性	249
三、正交设计方法	250
第二节 正交设计试验资料的方差分析	252
一、单个观测值正交试验资料的方差分析	252
二、有重复观测值正交试验资料的方差分析	257
第三节 因素间有交互作用的正交设计与分析	261
习 题	265
参考文献	267
附录 常用生物统计方法的 SAS 程序	269
一、SAS 系统简介	269
二、SAS 系统运行的几个重要前提条件	269
三、SAS for Windows 的启动与退出	269
四、SAS 程序结构、程序的输入、修改调试和运行	269
五、常用生物统计方法的 SAS 程序	271
附表 1 正态分布表	281
附表 2 正态分布的双侧分位数 u 值表	283
附表 3 t 值表 (两尾)	283
附表 4 F 值表 (方差分析用)	284

附表 5	q 值表	288
附表 6	SSR 值表	290
附表 7	χ^2 值表 (右尾)	291
附表 8	r 与 R 显著数值表	292
附表 9	常用正交表	293
汉英名词对照表		296
部分习题参考答案		299

第一章 田间试验

第一节 田间试验概述

一、田间试验的意义、任务与要求

(一) 田间试验的意义与特点

田间试验 (field experiment) 是指在田间土壤、自然气候等环境条件下栽培作物, 并进行与作物有关的各种科学研究的试验。

作物生产是在田间进行的, 田间是各种农作物的基本生活环境, 作物的产量、品质及特征特性的表现, 是田间各种环境条件综合作用的结果。要选育新的高产优质品种、认识作物的生长发育规律、或探索新的增产技术措施, 都必须在大面积生产的田间条件下进行试验。对于新的科研成果、或从外地引进的新品种、新技术是否增产显著等等, 也必须在田间条件下进行比较试验, 以确定其推广应用价值。因此, 在解决农业生产实际问题而进行的农业科学研究中, 田间试验占有重要和不可替代的地位。

由于农业科学试验材料和内容的复杂性, 除田间试验外, 还须采用多种试验方式, 如实验室试验、温室试验等。实验室或温室试验能较严格地控制在田间条件下难以控制的某些试验条件 (如温度、光照、土壤水分等), 有助于揭示作物生长发育规律; 利用人工气候箱 (室) 进行试验, 可对温度、湿度、日照和光强等同时调节, 模拟某种自然气候条件, 对于研究农业生产的理论问题具有重大的意义。但这些试验研究结果能不能在大田生产中应用, 都还必须经过田间试验的检验。因此, 田间试验是大面积推广农业科技成果的准备阶段, 是农业科学试验的重要形式。

田间试验除了试验研究因素的变动以外, 其他环境条件就是或接近大面积生产的有代表性的条件, 其研究成果应用到实际生产中就容易获得预期的效果, 容易实现大面积推广。因此, 田间试验获得的科技成果, 可很快转化为现实生产力。

田间试验与环境条件以及农业生产条件密切相关, 概括起来具有以下几个主要特点:

(1) 研究的对象和材料是农作物, 以农作物生长发育的反应作为试验指标研究其生长发育规律、各项栽培技术或条件的效果。不同作物各有不同的遗传特性, 同一作物的不同品种也具有不同的遗传特性, 有其自身的生长发育规律, 对外界环境条件各有不同的反应, 要求一定的适宜条件才能满足其正常生长发育。而田间试验是在自然的条件下进行试验, 自然条件是多变的, 要保证田间试验结果可靠, 必须在不同环境条件下进行一系列的田间试验, 才能确定作物品种及其相应的栽培技术的适宜区域。

(2) 田间试验具有严格的地区性和季节性。农业生产的最大特点之一是地区性很强。任何优良品种、栽培技术、病虫害防治措施等, 都因时间、地点和条件的不同而表

现出不同的效果。在一个地区进行田间试验获得的研究成果，最适宜在当地推广应用；从外地引进的新品种、新技术都必须在当地进行田间试验，以确定其推广应用价值。由于农作物生长发育受到气候条件的影响和限制，所以田间试验的季节性很强。而且，田间试验的周期长，从试验开始到结束，常常需要农作物的整个生长季节，有的一年只能进行一次，有的试验还要继续进行若干年，才能获得结果。

(3) 田间试验普遍存在试验误差。由于田间试验受到所有外界环境条件的影响，特别是受到客观存在的土壤差异的影响，使田间试验的结果包含着试验误差。因此，在进行田间试验的过程中，既要讲求田间试验技术，试验材料具有足够的代表性，还要注意取样技术等问题，尽量减少试验误差，又要应用生物统计方法来分析试验资料，以正确估计误差，得到可靠的结论。

(二) 田间试验的任务

田间试验的主要任务包括以下几个方面：

(1) 田间试验的根本任务是在自然或田间条件下选育和鉴定新的作物品种和改进农业生产技术，客观地评定优良品种及其适应区域，研究各项增产技术措施及其应用范围，使科研成果能够合理地应用和推广，尽快转化为生产力，发挥其在农业生产上的作用。

(2) 田间试验是联系农业科学与生产实践的桥梁。农业科学的成果和理论，通过田间试验被广泛地应用到农业生产实践中去，生产实践的经验通过田间试验上升到理论，就能更有效地指导农业生产。

(3) 田间试验研究成果可推动农业生产和农业科学向前发展。通过田间试验探索农作物的生长发育规律及其与自然环境和栽培条件的关系，制定出合理而有效的增产技术措施，以实现农业的高产、优质、高效。还可以做出示范，推动大面积生产。同时，推广、传授先进技术，培养农技人员，促进农业技术革命，提高农业科学水平。

(三) 田间试验的要求

农作物生长在开放环境的土壤中，始终受到各种外界环境因素的综合影响，各地的环境条件不同，对作物的生长发育具有不同的影响，在不同环境条件下的试验结果不尽相同。由于田间试验的环境条件难以精确控制，增加了进行试验的复杂性，试验结果一般都存在或大或小的试验误差。为了有效地做好试验，使试验结果能够在提高农业生产和农业科学的水平上发挥应有的作用，对田间试验的要求是：

1. 试验目的要明确 为了提高农业生产水平和效益，推动农业科学的发展，在深入生产实际调查和阅读大量参考文献的基础上，选择有科学性、针对性、现实性、先进性、预见性的研究课题进行试验研究，要能够解决当前生产中的实际问题、选育出新的作物品种、研究出新的农业生产技术或综合配套措施。对试验的预期结果要心中有数，进行试验前最好能对试验结果提出符合科学理论的假说。

2. 试验要有代表性和先进性 代表性是指进行田间试验的条件要能够代表其研究结果将要推广应用地区的自然条件 and 生产水平，这决定了试验结果的可能推广利用程度和研究成果的应用价值。否则由于农业生产的地域性，研究成果的推广应用就会受到

限制。试验的先进性是指试验研究除了结合当前实际外，还要考虑到农业生产的发展前景，试验条件既要代表目前水平，还要注意到将来可能被广泛采用的条件，考虑到其他学科的发展对农业生产的影响，使试验结果既能符合当前需要，有推广市场，又要有一定先进性，推动农业生产和农业科学的发展。

3. 试验结果要正确可靠 田间试验的结果是用来指导大田生产的，其研究结果必须正确可靠，才能保证研究结果的推广应用给农业生产产生应有效益。而田间试验中的误差常常是难以避免的，试验误差影响研究结果的正确性，这就要求在进行田间试验的过程中，必须严格控制试验条件，尽可能减少试验误差，要努力提高试验的准确性和精确性，使试验结果正确、可靠。

准确性 (accuracy) 也叫准确度，指在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。设某一试验指标或性状的真值为 μ ，观测值为 x ，若 x 与 μ 相差的绝对值 $|x - \mu|$ 小，则观测值 x 的准确性高；反之则低。精确性 (precision) 也叫精确度，指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，即任意二个观测值 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。试验的准确性、精确性合称为正确性。由于真值 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。

要保证试验结果具有较高的准确性和精确性，要注意：① 试验条件要一致，除了处理因素外，其他一切管理措施和条件要尽可能相同；② 准确地执行各项试验技术，避免发生人为的错误；③ 观察记载标准要明确、一致，同一项目或性状最好由相同人员完成。

4. 试验结果要具有重演性 试验结果的重演性是指在相同的条件下再次进行同一试验，应能获得与原试验相同的结果。只有试验结果符合客观规律、能够重演，才有推广应用价值。试验结果的重演性取决于试验的正确执行和试验条件的代表性。一般说来，只要试验条件的代表性和一致性好，试验结果正确，试验结果是能够重演的。与实验室里精确控制试验条件的化学、物理试验结果可准确地重复不完全一样，田间试验中不仅农作物本身具有变异性，在作物生长发育的过程中，更是受到各种环境条件变化的影响，可允许试验结果略有出入（如产量略高或略低一点），但试验结果表现出来的规律和变化趋势应一致。为了避免环境条件特殊变化影响试验结果的正确性，保证试验结果能够重演，可将试验在多种试验条件下重复进行多次。例如，品种区域试验常常在多个地点进行 2~3 年，以对各供试品种进行全面正确评价。

二、田间试验常用术语

1. 试验指标 (experimental index) 用来衡量试验结果的好坏或处理效应的高低，在试验中具体测定的性状或观测的项目称为试验指标。由于试验目的不同，选择的试验指标也不相同。农业试验中许多数量性状和质量性状都可以作为试验指标。如作物的产量及其构成因子、农产品品质指标等。

2. 试验因素 (experimental factor) 指试验中人为控制的、影响试验指标的原因。例如研究小麦高产栽培技术时，品种、密度、播种期、施 N 量等都对产量有影响，均可作为试验因素。当试验中考察的因素只有一个时，称为单因素试验；若同时研究两

个或两个以上的因素对试验指标的影响，则称为两因素或多因素试验。试验因素常用大写字母 A 、 B 、 C …等表示。

3. 因素水平 (factor level) 对试验因素所设定的量的不同级别或质的不同状态称为因素的水平，简称水平。例如比较 5 个小麦品种产量的高低，这 5 个小麦品种就是品种这个试验因素的 5 个水平；研究 4 种施 N 量对小麦产量的影响，这 4 种特定的施 N 量就是施 N 量这一试验因素的 4 个水平。因素水平用代表该因素的字母添加下标 1, 2…, 来表示。如 A_1 、 A_2 …， B_1 、 B_2 …，等。

4. 试验处理 (experimental treatment) 事先设计好的实施在试验单位上的具体项目叫试验处理，简称处理。在单因素试验中，实施在试验单位上的具体项目就是试验因素的某一水平。例如进行小麦品种比较试验时，实施在试验单位上的具体项目就是种植某一品种小麦。所以进行单因素试验时，试验因素的一个水平就是一个处理。在多因素试验中，实施在试验单位上的具体项目是各因素的某一水平组合。例如进行 3 个小麦品种和 4 种播种密度的两因素试验，整个试验共有 $3 \times 4 = 12$ 个水平组合，实施在试验单位上的具体项目就是某小麦品种与某播种密度的结合。所以，在多因素试验时，试验因素的一个水平组合就是一个处理。

5. 试验小区 (experimental plot) 安排一个试验处理的小块地段称为试验小区，简称小区。

6. 试验单位 (experimental unit) 亦称试验单元，是指施加试验处理的材料单位。这个单位可以是一个小区，也可以是一穴、一株、一穗、一个器官等。

7. 总体 (population) 依试验研究目的而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)。个体是统计研究中的最基本单位，根据研究目的，它可以是一株植物、一个稻穗、也可以是一种作物、一个作物品种等。

8. 有限总体 (finite population) 与无限总体 (infinite population) 包含无穷多个个体的总体称为无限总体；包含有限个个体的总体称为有限总体。

9. 样本 (sample) 从总体中抽取一部分供观察测定的个体所组成的集合，称为样本。对一个总体的研究，可以对总体中所有个体作全面观测，但耗费人力物力太多，难以实施；而且试验研究过程中有些观测手段具有破坏性，即使总体容量不太大，也不允许对所有个体一一进行考察，多数情况下只能从总体中抽取一部分个体即样本进行观察测量。

由样本特征来推断其总体性质是统计分析的基本手段，为此样本必须具有较好的代表性。这就要求抽样应符合随机性和独立性两个要求，即总体的各个体具有同等的概率被抽取，且每次抽取一个个体后不影响下次抽样时各个体被抽取的概率。从总体中采用随机方法抽取的样本称为随机样本 (random sample)。随机样本具有较好的代表性。

10. 样本容量 (sample size) 样本所包含的个体数目称为样本容量，常记为 n 。通常将样本容量 $n > 30$ 的样本称为大样本，将样本容量 $n \leq 30$ 的样本称为小样本。

11. 观测值 (observation) 对样本中各个个体的某种性状、特性加以考察，如称量、度量、计数或分析化验所得的结果称为观测值。

第二节 田间试验的误差及其控制

一、试验误差及其控制

(一) 试验误差

由于田间试验受到处理因素以外的各种环境因素的影响，常常使得田间试验处理的真实效应不能正确地反映出来，也就是说常常使得观测值与处理真值产生差异，这种差异称为试验误差，简称误差（error）。简言之，受非处理因素的影响使观测值与试验处理真值之间产生的差异称为试验误差。田间试验误差可分为系统误差和随机误差两种。

1. 系统误差（systematic error） 系统误差是试验过程中产生的误差，它的值或恒定不变、或遵循一定的变化规律，其产生的原因往往是可知的或可掌握的。如仪器或器具不标准、试验分析药品纯度差、试验地肥力按一定方向有规律的变化、或观察记载人员的习惯与偏向等。导致系统误差的原因多种多样，因试验地点、人员、仪器、药品等研究条件而异，所以实际观察资料的系统误差往往是多种偏差的复合。系统误差影响试验的准确性。

系统误差是某种系统性原因形成的，只要认真检查，可在很大程度上预见到各种系统误差的具体来源，理论上可以通过周密的试验设计、试验条件及试验过程的严格操作而予以控制。从事田间试验的研究人员必须熟识本领域研究、或本实验室仪器设备中容易发生系统偏差的因素，有针对性地予以控制，通过合理选择试验地，合理安排试验小区，校正仪器设备，观察记载及操作严格按标准进行，控制、降低及至避免系统误差的产生。

2. 随机误差（random error） 由多种偶然的、无法控制的因素所引起的误差称为随机误差。例如在试验过程中，同一品种、采用相同的栽培技术、种植在土壤肥力相似的邻近几个小区上，由于受许多无法控制的内在和外在的偶然因素的影响，其产量虽然接近但不完全相同。这种误差就是随机误差。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。统计上的试验误差是指随机误差。这种误差愈小，试验的精确性愈高。

(二) 田间试验误差的来源

为了有针对性地控制和降低试验误差，应充分了解试验误差的来源。在田间试验中，试验误差的来源可以概括为以下几个方面。

1. 试验材料本身所存在的差异 田间试验的供试材料通常是作物或其他生物，它们在遗传及生长发育等方面往往会存在一定差异，如试验所用的作物品种基因型不纯，种子大小和生活力不一致，秧苗的长势长相素质有差异，均可对试验结果产生一定影响而导致误差的出现。

2. 试验操作和田间管理技术的不一致所引起的差异 作为试验材料的作物在田间生长周期较长，在试验过程中各个管理环节的任何疏忽，都会对作物的生长发育产生影响，增加试验误差。例如试验过程中的整地、播种、施肥、中耕除草、灌溉、收获等

操作与管理技术在时间上、质量上不完全一致，对作物性状观察记载和测定时间、标准、人员及所用仪器或工具等的不一致，均会增加试验误差。

3. 环境条件的差异 各种环境条件对试验各处理单元不一致的影响，均会导致试验误差的增加。田间试验中环境条件的差异主要是指试验地的土壤差异和肥力不匀所导致的差异，这是普遍存在、影响最大而又最难以控制的。其他还有病虫害侵袭、人畜践踏、风雨影响等，都具有随机性，各处理所受影响也不尽相同，而且这些影响的出现与影响程度是难以预测，难以有针对性地予以控制。

上述各项差异在不同程度上影响试验处理效应，造成系统误差或随机误差。研究人员要有效地控制这些不同来源的差异，必须针对试验的具体情况予以全面考虑，控制对试验影响较大的主要环境因素，尽可能减少误差来源。田间试验的误差难以避免，但试验误差与试验过程中发生的错误是完全不同的概念。在试验过程中，错误是由于工作粗心大意、不按规程操作等主观原因造成的，是完全可以避免的，是不应该发生的。

(三) 田间试验误差的控制途径

为了提高试验结果的正确性，获得可靠的试验结论，必须严格控制试验误差。控制试验误差就是要根据试验误差的来源，采取相应的措施来避免或减少误差因素对试验结果的影响。

1. 选择同质一致的试验材料 田间试验中供试作物品种的基因型必须要求同质一致，即选择纯度一致、来源相同的作物种子。试验中需育苗移栽或扦插的，秧苗生长发育应一致，大小、壮弱不同的秧苗应分级，将同一规格的秧苗安排在同一区组的各处理小区，或将各级秧苗按比例分配给各处理小区，从而减少试验材料带来的差异。

2. 改进操作管理技术，使之标准化 在田间试验整个过程中，要严格执行各项技术规程，各种操作管理技术对所有处理应做到尽可能一致。而田间试验往往需要一定面积和有较大的工作量，整个试验地做到完全一致是不容易的，实际工作中的一切管理操作、观察测量和数据收集，一般都应以区组为单位进行，就是要贯彻“局部控制”的原则。例如，若整个试验全部小区的中耕除草不能在一天内完成，则当天至少要完成一个区组内所有小区的工作，以使同一区组内各小区做到均匀一致。这样，如果各天之间出现差异，但由于区组的局部控制功能而得到控制，不影响处理间的比较。由于试验操作人员的不同，执行同一技术时会发生差异，如秧苗移栽的质量、锄草的深浅、施肥的均匀性等均可能出现差异，因此若有数人进行同一项操作，最好一人独立完成一个区组。

3. 控制引起差异的主要外界因素 田间试验引起误差的主要外界因素是土壤差异。如果能够有效地控制土壤差异，减少土壤差异对试验处理的影响，就能有效地降低田间试验误差，提高试验的精确性。控制土壤差异的主要措施一般有：① 选择土壤质地和肥力均匀的试验地；② 采用适当的小区技术；③ 应用正确的试验设计和相应的统计分析。

二、试验地的土壤差异与试验地的选择

(一) 试验地的土壤差异

试验地是田间试验最重要的条件，土壤差异是田间试验误差的最主要、最经常的来源。田间试验的设计、小区安排和试验实施过程中，许多措施主要是针对控制土壤差异而进行的。

试验地的土壤差异的形成主要有两个原因。一是土壤形成的基础即成土母质、或地形地势的不同，造成土壤的物理、化学性质方面的差异。土壤形成基础方面的差异往往是较大范围的，通过选择试验地的适当位置，一般不会造成很大的试验误差；而且土壤形成基础产生的差异往往是导致系统误差，只要了解其土壤差异情况，合理安排试验小区，可以降低其对试验结果的影响达到最小。土壤差异形成的第二个原因是由于土地利用过程中产生的差异，前作种植的作物不同，种植作物的过程中土壤耕作、施肥等技术措施上的不一致而导致的差异，例如在一块地的不同位置分别种植花生和玉米，或红薯与大豆，由于作物的养分吸收与利用、根系分布、残留物的多少等方面的差异，就会使土壤的结构、肥力等特性产生差异，影响后季作物的生长。土壤差异一旦形成，就会维持较长时间，短期内难以消除。因此，选择试验地时，应该了解其前作种植作物及历史利用情况，这对减少田间试验误差，提高试验精确性有十分重要的意义。

试验地的土壤差异是可以测量的。最简单的办法是目测法，即根据前茬作物生长的一致情况予以判断。更精细的测定土壤肥力差异可采用空白试验或匀田种植试验。空白试验是在整个试验地上种植一个植株个体较小的作物品种，从整地到收获的整个作物生长过程中，采用一致的栽培管理措施，并对作物生长状况作仔细观察，遇有特殊情况，如严重缺株、病虫害等，应注明地段、行数，作为将来分析时的参考。收获时，将整个试验地划分为若干个面积相同的小区，依次编号，分开收获，得到产量数据。根据各小区的产量高低，就可获知其土壤肥力分布情况。

土壤差异的表现形式大致可分为两种，一是肥力呈梯度变化，即肥力高低有规则地从大田的一边到另一边逐渐变化；另一种形式是呈斑块状变化，有的地点肥，有的地点瘦，变化无规则。针对这两种土壤差异的变化形式，布置小区时应有所区别。

(二) 试验地的选择

正确地选择试验地是减少土壤差异、控制试验误差和提高试验精确性的重要措施。除了试验地所在的自然条件和农业条件具有代表性以外，还应注意以下几点：

1. 试验地的位置要适当 试验地的环境要有代表性，符合种植试验作物的要求，地势、土质要能代表当地主要土壤情况。试验地应选择阳光充足、四周有较大空旷地的位置，不宜靠近楼房、高树等屏障的旁边，以免遮荫影响或造成试验小区环境不一致。试验地也应便于管理，周围有相同作物的田地，应与道路、村庄、牧场保持一定距离，避免人、畜践踏。

2. 试验地最好选用平地 如果试验地高低不平，就会造成其土壤水分、温度和养分的较大差异，增大试验误差，也不便于田间管理。若没有很平坦的地，应选用沿一

个方向倾斜的缓坡地，并在布置小区时，尽可能使同一区组的各小区设置在同一等高线上。

3. 试验地的土壤结构和肥力要均匀一致 如果试验处理和小区数目较多，占地面积较大，至少应做到一个区组的土壤结构和肥力尽可能均匀。如果土壤肥力差异较大，要适当减少处理数目，使试验占地面积较小，土壤肥力容易均匀一致。前作、耕作对土壤肥力的均匀性有显著影响，应对前作和土壤耕作情况有所了解。一般可以用目测法或在试验前一年对准备做试验地的地块通过测定作物生长的整齐度来判断土壤肥力是否均匀。

4. 选择的试验地应有土地利用的历史记录 先前利用上的不同对土壤肥力的分布、均匀性甚至土壤结构都会有较大影响，因此应选择近年来在土地利用上相同或相近的田块。对不宜连作的作物，应避免选用多年种植该作物的田块。

5. 试验地采用轮换制 为了避免因前作试验处理造成的土壤肥力差异的影响，使每年的试验能设置在较均匀的土地上，应对试验地采用轮换制。经过不同处理的试验后，尤其是在肥料试验后，由于不同小区施肥量甚至肥料种类不同，作物生长状况也有一定差异，原试验地的土壤肥力的均匀性受到较大影响，在一定时间内难以恢复，只能用作一般生产，以待逐渐恢复其均匀性。

三、田间试验设计的基本原则

田间试验设计（field experimental design）的广义理解是指从制定方案到资料整理分析的整个试验研究课题的设计，包括确定试验方案、小区技术、资料搜集和整理分析方法等。狭义的理解则专指小区技术，特别是重复区和小区的排列方法。按照试验的目的要求和试验地的具体情况，将各试验小区在试验地上作最合理的设置和排列，称为田间试验设计。试验设计是影响试验研究是否成功的关键环节，是提高试验质量的重要保证。

田间试验设计的主要作用是控制、降低试验误差，提高试验的精确性，获得试验误差的无偏估计值，从而对试验处理进行正确而有效的比较。通过适当的试验设计，能大大降低因非处理因素的影响而产生的试验误差。

针对田间试验误差的主要来源是土壤差异的特点，除了选择适当的试验地以外，在田间试验设计中应遵循以下三个基本原则。

1. 重复（replication） 重复是指试验中将同一试验处理设置在两个或两个以上的试验单位上。同一试验处理所设置的试验单位数称为重复数。当一个试验的每个处理都只设置在一个试验单位上时，称为无重复试验；当一个试验中部分处理设置在两个或两个以上试验单位上时，称为部分处理设重复的试验；当一个试验的每个处理都设置在两个试验单位上时，称该试验有两次重复，其余类推。重复的作用主要有：

(1) 估计试验误差。如果同一处理只设置在一个试验单位上，那么只能得到一个观测值，则无从看出变异，因而无法估计试验误差的大小。只有当同一处理设置在两个或两个以上的试验单位上，获得两个或两个以上的观测值时，即同一处理有两次以上重复，就可从重复观测值（如产量）之间的差异来估计试验误差。

(2) 降低试验误差，提高试验的精确性。数理统计学已证明，样本平均数的标准误

S_x 与样本观测值的标准差 S 和样本容量 n 之间的关系为： $S_x = S/\sqrt{n}$ ，即平均数抽样误差的大小与重复次数的平方根成反比。适当增大重复次数可以降低试验误差。

2. 随机排列 (random assortment) 随机排列是指试验中的每一处理都有同等机会设置在一个重复中的任何一个试验小区上。随机排列和重复结合，就能获得试验误差的估计。各试验小区的随机排列可以采用抽签法、计算机产生随机数字法或利用随机数字表进行。

3. 局部控制 (local control) 田间试验中，当试验小区数目较多、整个试验需要面积较大，而试验环境或试验单位差异较大时，如果仅根据重复和随机两个原则进行试验设计，不能将试验环境或试验单位差异所引起的变异从试验误差中分离出来，因而试验误差大，试验的精确性与检验的灵敏度低。为解决这一问题，可将整个试验环境或试验单位分成若干个小环境或小组，在小环境或小组内使非处理因素尽可能一致，实现试验条件的局部一致性，这就是局部控制。

田间试验设置重复是为了降低试验误差，但又因增加了试验地的面积而增大全试验地的土壤差异，若同一处理各重复小区在全试验地完全随机排列，则因土壤差异增大而减少了重复降低误差的作用。划分区组进行局部控制就能弥补这一不足。同一区组 (重复) 的不同处理设置在较小面积的试验地而相邻在一起，土壤差异对处理间的影响就较小，而受土壤差异影响较大的区组间的差异则可通过统计方法予以区分开来，因而试验误差仅受区组内较小土壤差异的影响，而与因重复扩大了试验面积无关，所以局部控制能较好地降低试验误差。

重复、随机排列和局部控制是田间试验设计中必须遵循的三个原则。采用这三个基本原则进行田间试验设计，配合适当的统计分析方法，就能从试验结果中提取可靠结论。三个原则的关系和作用如图 1-1 所示。

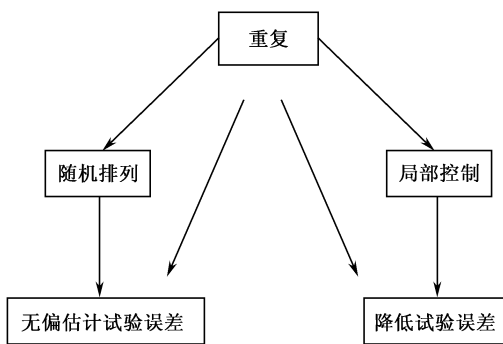


图 1-1 田间试验设计的三个基本原则的关系和作用

四、控制土壤差异的小区技术

利用合理的小区技术 (plot technique)，可以有效地控制土壤差异及田间操作管理引起的差异，提高试验精确性。小区技术主要包括以下几个方面：

(一) 试验小区的面积

小区面积的大小对于减少土壤差异的影响和提高试验的精确性有密切关系。在一定范围内增加小区面积,可以减少试验误差,因为小区面积太小,更有可能恰巧占有或大部分占有土壤较瘦或较肥的部分,使小区之间差异增大;较大的小区同时包括肥瘦部分的可能性要大些,小区间土壤差异的程度相应缩小,从而降低误差。

但小区面积增加的幅度与降低误差的效果不成比例,即小区面积增大到一定程度以后,误差的降低就较不明显,试验误差减少的幅度小于小区面积增大的幅度。如果采用很大的小区,由于整个试验地面积增加很多,不但工作量大大幅度增加,多费人力物力,而且误差来源也增加。当试验地的面积一定时,精确性因小区面积增大而提高,但随着重复次数减少而有所下降,增加重复次数比增大小区面积能更有效地降低试验误差,因而试验小区面积与重复次数应综合考虑,在保证一定重复次数的基础上,适当增加小区面积。

研究性试验小区面积一般在 $6\sim 30\text{ m}^2$, 示范性试验的小区面积通常不小于 300 m^2 。在确定一个具体试验的小区面积时,应考虑以下因素:

1. 试验种类 为了便于试验的实施,机械化试验、灌溉试验等的小区面积应大些,而品种比较试验的小区面积可小些。

2. 作物类别 主要依作物植株个体的大小、种植密度的大小决定。稻麦的植株个体较小,种植密度较大,小区面积可小些,其品种比较试验的小区面积一般为 $5\sim 15\text{ m}^2$;棉花、玉米等植株个体较大,种植密度宜较稀,小区面积应大些,其品种比较试验的小区面积一般为 $15\sim 25\text{ m}^2$ 。

3. 试验地面积与土壤差异程度及形式 试验地的面积允许时,可采用较大的小区面积。土壤差异大的,小区面积应较大些;土壤差异小的,小区面积应小些。土壤差异呈现斑块状变化时,应采用较大的小区面积。

4. 育种工作的不同阶段 在新品种选育过程中,品系数由多到少,种子数量由少到多,对精确性的要求从低到高,小区面积就应从小到大。

5. 保证试验收获计产面积的需要 大多数作物田间试验都需要获得最终产量资料,以说明各处理对作物产量及产量构成因子的作用。要保证试验最终产量的准确性,必须考虑到三个因素的影响,即取样的需要、边际效应与生长竞争。在田间试验进行的过程中,常常需要在田间取样进行各种测定,取样可能影响其周围植株的生长,因而有可能影响最终小区产量的准确性。因此,在确定试验小区面积时,要相应增大小区面积。边际效应是指小区两边或两端植株的生长环境与小区中间植株的生长环境不一致而表现出的差异。一般小区的边行若与未种植作物的边际相邻,由于占有较大的空间而表现出一定优势,产量偏高。生长竞争是指当相邻小区种植不同作物或相邻小区进行不同肥料等处理时,由于株高、分枝分蘖力或生长期的不同,小区边际通常有一行或多行受到影响。这些影响因不同性状及其差异大小而不同。对这些效应和影响的处理方法,是在小区面积上除去可能受到影响的边行和两端,以减少误差。一般小区的每一边除去 $1\sim 2$ 行,两端各除去 $30\sim 50\text{ cm}$ 即可。

(二) 小区的形状

适当的小区形状在控制土壤差异、提高试验精确性方面也有相当作用。小区形状是指长宽比例。一般情况下，长方形尤其是狭长形小区的试验误差比正方形小区的小图 1-2。不论土壤差异呈梯度变化或斑块状变化，狭长形小区均能较全面地包括不同肥力的土壤，狭长形小区也使各小区更紧密相邻，减少小区之间的土壤差异。当已知土壤肥力呈梯度变化时，一定要使小区的长边与肥力变化方向平行，使区组的长边与土壤肥力梯度方向垂直，才能获得最小的试验误差。如果小区和区组排列方向与前述相反，获得的试验误差就会最大。

小区的长宽比依试验地形状、面积及小区多少、大小而定，一般以 3:1 至 5:1 为宜。为了便于试验小区实现机械化作业，小区的长宽比可大些，或依机械作业的宽度而定。

小区的长宽比除了考虑土壤差异的分布状况外，还要考虑到边际效应、作物倒伏等因素。

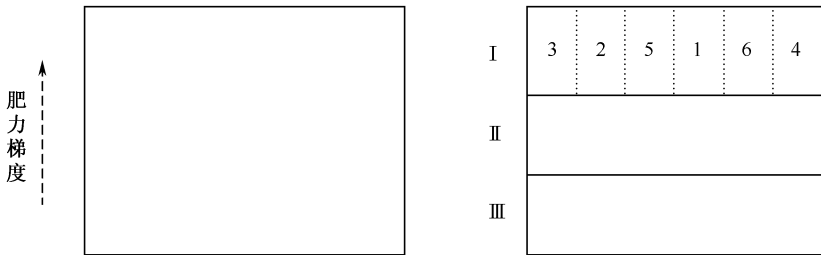


图 1-2 按土壤肥力变异趋势确定小区和区组排列方向

(I、II、III 表示区组，1、2、…、6 表示处理)

(三) 重复次数

从理论上说，重复次数越多，试验误差越小。一个处理设置了几个重复小区，并把这些小区散布在试验地的不同位置，几个小区所处土壤的平均肥力情况，使各处理可能处在相似的土壤条件下，土壤差异对各处理的影响就较为接近，试验结果就更为精确。但多于一定重复次数，误差因为重复的作用而减少得很慢。在实际运用中由于重复太多，尤其是处理数也较多时，试验地面积和田间操作管理工作量会大幅度增加，其他因素带来的误差增加较快，而且花费人力物力太多，很不经济。

重复次数要根据试验所要求的精确度、土壤差异的大小、试验材料（如种子）的数量、试验地面积、小区大小等具体情况决定。对于土壤肥力差异较大、精确度要求较高、小区面积较小的试验，试验地面积较大时，重复次数应多些。对于土壤肥力较均匀、小区面积较大，试验地面积较小时，重复次数可适当少些。实际研究工作中，常采用 3~5 次重复。

(四) 对照区的设置

有比较才能鉴别，田间试验应设置对照区（通常以 CK 表示）作为与处理比较的标准。对照应是当地推广的良种或广泛应用的栽培技术措施。设置对照有两个方面作用：

(1) 在田间对各处理进行观察比较时作为衡量处理优劣的标准。

(2) 估计和矫正试验地的土壤差异。整个试验地设置几个对照区以后，依据对照区产量的变化，估计出试验地的土壤肥力变异和分布情况，并将不同处理的试验结果矫正到各小区土壤肥力相同或相近的水平进行比较，从而减少或消除土壤差异产生的影响。

一些无明确对照的试验，实际上在处理中包括了一些标准处理，或各处理可相互进行比较。

对照区在对比法或间比法试验中一般采用顺序式排列，在随机区组设计、裂区设计等其他试验中，同其他小区一样作随机排列。

(五) 保护行 (guarding row) 的设置

为了使各处理小区所处的环境条件尽可能一致，保护试验材料不受外来因素的影响，如人、畜践踏和损害，防止靠近试验地四周的小区因所处特殊空旷环境的影响，避免边际效应，从而进行处理之间的正确比较，常在小区试验地的周围设置保护行。

保护行的多少依作物而定，如禾谷类作物至少种植 4 行以上。大多数试验的小区与小区之间连续种植，一般不设保护行，重复之间一般也不设保护行。

保护行种植的品种，可用对照品种，或比供试品种略为早熟的品种，以减少试验小区收获时发生的误差及鸟害。

(六) 重复区 (区组) 和小区的排列

小区技术应该考虑整个重复区及小区在重复内的位置。根据局部控制的原则和土壤肥力的变化情况，分范围、分地段地控制非处理因素是降低试验误差、提高试验精确度的有效方法。将一个重复全部处理小区分配于具有相对同质的一小块土地上，称为一个区组 (block)。设置区组是控制土壤差异和其他田间管理等最简单最有效的方法之一。田间试验一般设置 3~4 次重复，分别安排在 3~4 个区组上，这时重复与区组等同，每一区组包括全部处理，称为完全区组。当处理数较多时，每个区组只安排部分处理，称为不完全区组。

区组的排列依试验地的形状、地势、土壤差异情况而定。有两种排列方式：①密集式，即所有区组排在试验地相邻近部分，排成一长条或多条 (排)；②分散式，即各个区组可以单独地或成群排列在试验地各个不同部位，甚至不同田块。区组和小区排列的原则是当土壤差异一定时，同一区组内各小区的土壤肥力应尽可能一致，而不同区组之间可以存在较大差异；小区内可包括较大的土壤差异，小区间的差异要小。因为尽管区组间的差异大，可通过适当的统计分析方法将区组间的变异分解出来，并不增大试验误差，不影响处理间的比较；而区组内的差异小，能有效地减少试验误差，提高试验的精确度。

区组的排列，当小区数不多时，每一区组可排成一行，试验地呈长方形；试验地为

正方形而长度摆设不下整个区组时，一个区组也可分为二排，相邻在一起。试验地平坦而靠近坡地时，区组的排列最好与坡平行；试验地本身为坡地时，同一区组的各小区设置在同一等高线上。当肥力呈梯度变化时，区组要与肥力变化方向垂直，即同一区组的各小区设置在同一肥力水平带。

小区在各区组内的排列有顺序式和随机式。顺序式又有同样式和改变式，同样式各小区按同一顺序排列，改变式则稍加改变，成为逆向式或阶梯式。随机排列是小区在各区组内的排列完全随机决定，以避免系统误差，提高试验的准确度，并能无偏估计试验误差。

第三节 田间试验方案

一、田间试验的种类

(一) 按试验因素的多少分类

1. 单因素试验 (single-factor experiment) 是指整个试验中只对一个试验因素设置不同的水平并进行水平间的比较，其他所有试验条件均应严格控制一致，只研究一个因素的效应，是最基本、最简单的试验。例如在育种试验中，将若干个新品种与对照品种进行比较试验，品种就是唯一考察的因素，其他环境条件和栽培管理都应严格控制一致。单因素试验设计简单，试验目的明确，试验结果容易分析。

2. 多因素试验 (multiple-factor experiment) 是指在同一试验中同时研究两个或两个以上试验因素的试验，各因素的不同水平相互组成平衡的水平组合。例如，同时探讨氮、磷、钾肥料对作物生长的影响，可将这三种肥料各设置 2~3 个水平，同时进行试验，就构成了一个三因素试验。进行包含所有水平组合的多因素全面试验不仅可以考察不同因素的简单效应和主效，还可探索因素间的交互作用，以确定各试验因素的最优水平组合。多因素试验的效率高于多个单因素试验的效率。多因素全面试验的主要不足，是当试验因素和水平数较多时，组成的水平组合数太多，在进行试验时，人力、物力、财力、土地等都难以承受，试验误差也不易控制。因而多因素全面试验宜在因素个数和水平数都较少时应用。

3. 综合性试验 (comprehensive experiment) 也是一种多因素试验，与前述多因素试验的区别在于综合性试验是将试验因素的某些水平组合在一起形成少数几个水平组合，使需执行的处理数大为减少。这种试验的目的在于探讨试验因素中某些水平组合的综合作用，而不在于考察各试验因素对试验指标的影响和交互作用。综合性试验是针对起主导作用、且相互关系已基本清楚的因素而设置的试验，它的水平组合就是一系列经过实践初步证实的优良水平的组装配套。综合性试验一般用于研究后期多种技术措施的组装配套，在此之前，对于起主导作用的因素及交互作用要基本弄清。

(二) 根据试验的内容分类

1. 品种试验 将基因型不同的作物品种在相同条件下进行试验，鉴别各品种的优劣，从中选出适合当地的高产品种。品种试验又可分为新品种选育试验、品种比较试

验和品种区域试验。

2. 栽培试验 将基因型相同的作物品种在不同栽培条件下进行试验，研究作物高产优质的栽培技术。例如，作物播种期试验、密度试验、肥料施用量和施用时期试验、灌溉试验、复种轮作试验及机械化栽培试验等。

3. 品种和栽培相结合的试验 将基因型不同的作物品种在不同栽培条件下进行试验。

(三) 按试验的年份分类

1. 一年试验 试验在一年内或一个生长季节完成。

2. 多年试验 试验在多年或多个生长季节重复进行多次。

(四) 按试验的地点分类

1. 单点试验 试验仅在一个试验地点进行。

2. 多点试验 在两个或两个以上试验地点进行相同的试验。这种试验在各地不同的自然条件下进行，有助于提早确定试验成果的适应范围，有利于新品种和新技术的迅速推广。

(五) 按试验进程分类

1. 预备试验 预备试验就是正式试验开始之前，根据试验设计进行的探索性试验，为正式试验做好准备。通过预备试验，使试验人员熟悉操作方法和程序，熟悉和合理选择供试材料。通过对预备试验所得到的资料进行分析，还可检查试验设计的科学性、合理性和可行性，发现问题及时解决，使正式试验能顺利进行。

2. 主要试验 在预备试验的基础上，按照严格的试验设计和试验技术要求进行的正式试验。试验的处理和重复数较多，精确度要求较高。

3. 示范试验 又称生产试验，是一种推广性质的试验，应尽量地接近生产条件，要能够重现主要试验的结果。示范试验的试验面积较大，试验地和材料要有代表性，处理和重复数宜少，试验正确性要高。

(六) 按试验场所分类

1. 田间试验 是农业试验的主要形式，在人为控制的条件下，观察比较作物对不同处理的反应和效果。田间试验的条件接近生产实际，但由于温、光、水及土壤环境难以控制，试验较复杂。

2. 温室试验 在较严格控制的温度及光照的条件下，观察作物的生长发育规律，比较不同处理的效果。由于温、光、水等条件得到较好的控制，试验误差小，结果正确可靠。

3. 实验室试验 在严格控制的条件下进行的一些特殊试验，如种子低温发芽试验、组织培养试验等，对阐明农业生产中的一些理论问题极为有用，在有条件时应充分利用。

（七）按试验区的大小分类

还可分为小区试验与大区试验。每一处理的面积小于 60 m^2 的试验称为小区试验。每一处理的面积大于 60 m^2 的试验称为大区试验。

二、拟定试验方案的基本要求

试验方案 (experimental scheme) 是指根据试验目的与要求而拟定的进行比较的一组试验处理的总称。单因素试验方案就是该因素各水平的总称, 多因素试验方案就是各因素水平组合的总称。试验方案是整个试验工作的核心部分, 须周密考虑, 慎重拟定。试验方案在很大程度上反映了研究水平的高低, 决定了能否取得完满的有价值的结果, 方案不完善, 试验执行得再好, 也弥补不了其缺陷, 结果肯定不理想; 方案太复杂则难以执行好。拟定一个正确有效的试验方案, 是保证试验成功的基础。在拟定试验方案时, 应注意以下几点。

（一）明确试验目的

拟定试验方案时, 在正确掌握生产中存在的问题后, 对试验目的、任务进行仔细分析, 抓住关键, 突出重点; 通过查阅文献资料和调查交流, 掌握有关资料、信息, 使试验方案有科学依据; 对所研究的主题及其相关问题要有较深入的了解, 在某种程度上对试验结果有所预测。明确试验目的, 提高试验效率, 使试验方案能针对主要问题而有效地予以解决。

（二）根据试验目的确定参试因素

参试因素应对试验指标影响较大、能解决关键性问题。田间试验的目的就是通过比较来鉴别处理效应大小、好坏等。一项试验研究任务往往涉及许多方面, 需要对很多因素或指标进行研究。但是, 一个试验的因素不能太多, 否则处理数过多无法实施。试验方案应力求简单, 制定试验方案时, 应对研究任务作仔细深入分析, 在固定大多数因素的条件下, 重点研究一个或几个因素的作用, 每个因素设置一定数量水平, 构成一定数量的处理。一般在研究的初期, 应抓住关键因素作单因素试验, 如在作物生长后期进行施用某种生长调节剂的试验, 在拟定试验方案时, 设置施用不同用量生长调节剂的几个处理和一个不施用生长调节剂的对照, 得到一个包含多个处理的单因素试验方案。随着研究的深入, 需要了解因素之间的相互作用, 可采用多因素试验。例如考察作物不同生育时期对不同生长调节剂用量的反应, 则应安排一个二因素试验。

（三）合理确定参试因素的水平

各因素的水平数目应适当, 水平数太少容易漏掉一些好的信息, 至使结果分析不全面; 水平数目过多, 不仅难以反映出各水平间的差异, 而且加大了处理数。水平间的差异或间距要合理, 使各水平有明显区别, 并把最佳水平包括在内。各因素水平可根据因素的特点及作物的反应灵敏度等来确定, 以使处理的效应容易表现出来。有些因素在数量等级上只需少量的差异就反映出不同处理的效应, 如生长调节剂浓度等。而有些则需

较大的差异才能反映出不同处理效应来，如磷肥用量等。试验方案中各因素水平的间距要灵活掌握。田间试验中，根据试验因素的特性，各因素水平间的间距一般可采用等差法（即等间距法）和等比法确定。

1. 等差法 各相邻两个水平数量之差相等，例如水稻全生育期的尿素用量可设 3 个水平，分别为 20、40、60 ($\text{kg}/666.7 \text{ m}^2$)，相邻两个水平都相差 20 ($\text{kg}/666.7 \text{ m}^2$)。又如玉米种植密度可设 3500、4000、4500 ($\text{株}/666.7 \text{ m}^2$)，相邻两个水平都相差 500 ($\text{株}/666.7 \text{ m}^2$)。

2. 等比法 各相邻两个水平的数量比值相同，例如油菜喷施不同浓度硼肥的各水平分别为 7.5、15、30、60 (mg/kg)，相邻两水平之比为 1:2。

3. 随机法 用随机的方法确定因素内的数量水平，例如把喷施调节剂的浓度随机设定为 0、0.5、2、6、9 (mg/kg)。

4. 选优法 先选出因素水平的两个端点值，再以 $G = (\text{最大值} - \text{最小值}) \times 0.618$ 为水平间距，用 $(\text{最小值} + G)$ 和 $(\text{最大值} - G)$ 的方法确定因素水平。当试验指标与因素水平间呈抛物线关系时，用这种方法可以找到一个最优点，故将此法称为选优法。例如上述喷施调节剂浓度试验，把因素水平的两个端点值定为 0 和 5 (mg/kg)，则水平间距 $G = (5 - 0) \times 0.618 = 3.09 (\text{mg}/\text{kg})$ ， $0 + 3.09 = 3.09$ ， $5 - 3.09 = 1.91$ ，于是，喷施调节剂浓度试验用选优法确定的因素水平为：0（对照），1.91，3.09，5 (mg/kg)。

（四）应用唯一差异原则

为保证试验结果的严格可比性，在试验中进行处理间比较时，除了处理因素设置不同的水平外，其余因素或其他所有条件均应保持一致，以排除非试验因素对试验结果的干扰，才能使处理间的比较结果可靠。例如，进行某作物品种播种期的试验，设 3 月 15 日、3 月 25 日、4 月 4 日、4 月 14 日 4 个播种期，播种期的不同是该试验不同处理之间的唯一差异，其他如种植密度、施肥量、水分条件等均应一致，栽培管理措施都应相同，才能得出该品种的可靠的适宜播种期。又如进行一个喷施叶面肥的试验，如果设置两个叶面肥浓度，对照应为喷施等量清水，处理与对照间的差异就是叶面肥的处理效应；如果对照不喷施等量清水，处理与对照间的差异，就难以分清到底是叶面肥的作用，还是喷水的作用，不能说明叶面肥的真实效应是多大。

（五）设置对照（check）

对照是比较的基准，任何试验都不能缺少对照，否则就不能显示出试验的处理效果。根据研究的目的与内容，可选择不同的对照形式。农业试验中常以大面积推广使用的农艺措施为标准对照，来检验新措施或新技术的优劣。例如，进行喷施植物生长调节剂的试验，喷施生长调节剂的为处理，不喷施生长调节剂的为对照，这样的对照为空白对照。若进行几个生长调节剂浓度的比较试验，各个处理可互为对照，不必再设对照。在对作物某生育期进行生理生化指标测定时，所得数据是否异常应与作物的正常值作比较，作物的正常值就是所谓的标准对照。在杂交试验中，要确定杂交优势的大小，必须以亲本作对照，这就是试验对照。对作物进行某种处理前与处理后的比较，属于自身对

照。在肥料效应试验中，以不施肥处理作为空白对照，同时还可以设置肥底对照，如研究磷肥效果时，可在施用氮、钾肥的基础上，比较施磷肥与否的产量差异，这时单施氮、钾肥的处理就称为肥底对照。

(六) 正确处理试验因素与试验条件的关系

一个试验中只有供试因素的水平变动，其他因素都保持一致，固定在某个水平上。而一种条件下获得的试验结果，在其他条件下就不能重演，最优处理不一定最优。如在含磷、钾丰富的土壤上进行氮肥肥效试验，可能获得较好的增产效应；但在缺磷、钾的土壤上重复进行该试验，氮肥的增产效果就会降低。因而在拟订试验方案时，必须考虑试验条件的影响，尤其是那些与试验因素可能存在互作的试验条件，例如品种试验时应安排好密度、施肥水平等一系列试验条件，使之具有代表性和典型性。由于单因素试验时试验条件的局限性，可以考虑将那些与试验因素有互作的试验条件作为试验因素一起进行多因素试验，或在不同条件下，重复进行单因素试验，以获得可靠的试验结果。

三、拟定试验方案的方法

(一) 单因素试验方案

单因素试验方案由试验因素的所有水平构成。例如在水稻栽培试验中进行 4 个不同氮肥施用量的试验，就是一个有 4 个水平的单因素试验，4 个不同氮肥施用量，即该因素的 4 个水平就构成了试验方案。

单因素试验方案的设计关键是要合理确定因素的水平范围和水平间距。水平范围是指试验因素水平的上、下限范围，其大小取决于研究目的及试验研究的深入程度。例如施肥量试验，如果研究作物产量随施肥量变化的全过程，水平范围宜大，以不施肥为下限，以超过最高产量施肥量为上限。若要在以前试验基础上，探索有限施肥量范围的产量效应，水平范围可适当小些。水平间距是指因素的相邻水平之差。水平间距应适当，间距过大没有实际意义，间距过小试验效果易被误差掩盖，试验结果难以说明问题。

(二) 多因素试验方案

多因素试验方案由该试验的所有试验因素的水平组合（即处理）构成。在列出因素水平组合时，要求每一个因素的每个水平都要组合一次，这时，水平组合数等于各个因素水平数的乘积。例如，进行氮肥施用量（A）和种植密度（B）两因素水稻栽培试验，氮肥设 3 个水平，密度设 4 个水平，两个因素的 12 个水平组合就构成了试验方案，如表 1-1 所示。

表 1-1 A 因素 3 个水平、B 因素 4 个水平的 12 个水平组合

因素 A	因素 B			
	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
A ₁	A ₁ B ₁	A ₁ B ₂	A ₁ B ₃	A ₁ B ₄
A ₂	A ₂ B ₁	A ₂ B ₂	A ₂ B ₃	A ₂ B ₄
A ₃	A ₃ B ₁	A ₃ B ₂	A ₃ B ₃	A ₃ B ₄

这种由各因素所有水平组合构成的试验方案称为完全试验方案，根据完全试验方案进行的试验称为全面试验（overall experiment）。多因素全面试验既能考察试验因素对试验指标的影响，也能考察因素间的交互作用，选出最优水平组合。

（三）综合性试验方案

综合性试验方案是在各试验因素全部水平组合中挑选部分水平组合获得的方案，属于不完全试验方案。根据不完全试验方案进行的试验称为部分实施的试验（partly-executed experiment）。作物栽培的综合性试验、正交试验等都属于部分实施的试验。

第四节 常用的田间试验设计方法

根据处理在各重复区中的排列方式，常用的田间试验设计可分为顺序排列设计和随机排列设计两大类。前者常用于处理数多、对精确度要求不高的试验，它强调试验实施的简化和方便，对试验结果不需进行精确的统计分析；而后者常用于处理数较少、对精确度要求较高的试验，它特别强调合理的试验误差估计，需要对试验结果进行精确的统计分析。

一、顺序排列设计

顺序排列设计就是在重复区内将各处理作顺序排列。这种设计简单，操作方便，能减少小区间的边际效应和生长竞争。但由于各处理作顺序排列，容易产生系统误差，尤其在存在明显土壤肥力梯度时更是如此。下面介绍顺序排列的对比设计和间比设计。

（一）对比设计

1. 设计方法 对比设计（contrast design）是在每一重复区中，将各处理按照一定顺序（如植株高矮、成熟期早晚、施肥量多少等）进行排列，每隔两个处理设置一个对照，使每一处理都可与其相邻的对照直接比较。如果处理数为偶数，则以处理开头；处理数为奇数，既可以处理开头，又可以对照开头。当各重复区排列成多排时，不同重复区内处理的排列可采用阶梯式（图 1-3）或逆向式（图 1-4）。

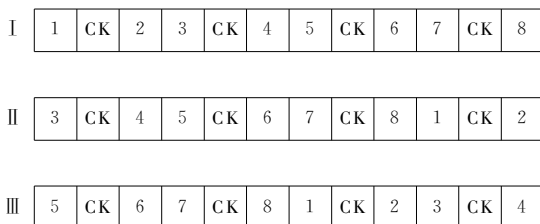


图 1-3 8 个处理的对比设计小区排列示意图（阶梯式）
（I、II、III 表示重复，1、2、3、…、8 表示处理，CK 表示对照）

阶梯式排列可使同一处理尽可能占有不同的土壤条件，而逆向式排列的最大好处是便于田间观察记载。为了方便以后整理和分析试验结果，对比设计中与每个对照相邻的两个处理的搭配最好不要打乱。

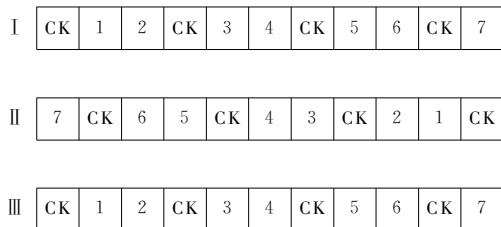


图 1-4 7 个处理的对比设计小区排列示意图 (逆向式)
(I、II、III 表示重复, 1、2、3、…、7 表示处理, CK 表示对照)

2. 设计特点 对比设计应用了田间试验设计的重复和局部控制两个原则。由于相邻小区特别是狭长形相邻小区之间土壤肥力差异较小, 每个处理与其相邻的对照进行比较, 其结果就比较准确可靠, 不致受试验地土壤肥力差异较大的影响。因此, 对比设计是运用相邻小区土壤肥力的相似性来减少试验误差的。但是, 由于对比设计没有应用随机排列的原则, 所以不能无偏估计试验误差。

对比设计的优点是设计、布置和田间观察记载都比较方便; 缺点是对照占地多, 达整个试验地的三分之一或更多。因此, 对比设计的处理数不宜过多, 一般在 10 个以内。

3. 结果分析 由于不能无偏估计试验误差, 对比设计试验结果的分析通常采用简单的百分比法。下面以一实例予以说明。

【例 1-1】 有 9 个油菜品种 (其中 1 个为对照 CK) 的比较试验, 采用 3 次重复的对比设计, 田间小区排列如图 1-3 所示。小区计产面积 20 m^2 , 试验结果 (产量, $\text{kg}/20 \text{ m}^2$) 见表 1-2。试进行分析。

表 1-2 油菜品种比较试验产量结果分析 (单位: $\text{kg}/20 \text{ m}^2$)

品种 代号	重 复			总产量	平均 产量	对相邻 CK的%
	I	II	III			
1	5.5	5.7	5.6	16.8	5.60	120.0
CK	4.7	4.5	4.8	14.0	4.67	—
2	4.1	4.6	4.3	13.0	4.33	92.9
3	4.5	4.3	4.3	13.1	4.37	92.3
CK	4.9	4.6	4.7	14.2	4.73	—
4	5.5	5.2	5.3	16.0	5.33	112.7
5	4.2	4.4	4.6	13.2	4.40	95.0
CK	4.6	4.7	4.6	13.9	4.63	—
6	6.0	5.7	5.7	17.4	5.80	125.2
7	4.9	4.7	4.5	14.1	4.70	98.6
CK	5.0	4.6	4.7	14.3	4.77	—
8	4.8	5.0	5.2	15.0	5.00	104.9

第一步, 计算各品种 (包括 CK) 3 次重复的总产量和平均产量, 列于表 1-2 的第 5 和第 6 列。

第二步, 计算各品种 (不包括 CK) 总产量或平均产量对于其相邻 CK 的百分比,

将结果列于表 1-2 的第 7 列。例如 4 号品种对于其相邻 CK 的百分比为 $16.0 / 14.2 = 5.33 / 4.73 = 112.7 (\%)$ 。

第三步，根据各品种对于其相邻 CK 的百分比作出结论。凡大于 100% 的品种均较 CK 增产，小于 100% 的品种均较 CK 减产。但由于误差的存在，一般田间试验很难鉴别 5% 以下的显著性。因此通常认为大于 110% 的品种增产显著，小于 90% 的品种减产显著，介于二者之间的品种宜继续试验，再作结论。

本例 6 号、1 号和 4 号品种对于其相邻 CK 的百分比均大于 110%，均较 CK 显著增产。8 号品种对于其相邻 CK 的百分比仅为 104.9%，在第 II 和第 III 重复中产量比 CK 高，但在第 I 重复中却低于 CK，因而不能认为其较 CK 显著增产。7 号、5 号、2 号和 3 号品种均较 CK 减产，但不显著。

(二) 间比设计

1. 设计方法 与对比设计类似，间比设计 (interval contrast design) 也是在每一重复区中将各处理进行顺序排列。所不同的是，间比设计中各重复区的第一个和最后一个小区一定是对照，每两个对照之间排列相同数目的处理，通常为 4 个、9 个或 19 个。当各重复区排列成多排时，不同重复区内处理的排列可采用阶梯式 (图 1-5) 或逆向式 (图 1-6)。如果一块土地上不能安排整个重复区的小区，则可在另一块土地上接下去，但开始时仍需设置一个对照 (称为额外对照)，如图 1-7 所示。

I	CK	1	2	3	4	CK	5	6	7	8	CK	9	10	11	12	CK	13	14	15	16	CK
II	CK	5	6	7	8	CK	9	10	11	12	CK	13	14	15	16	CK	1	2	3	4	CK
III	CK	9	10	11	12	CK	13	14	15	16	CK	1	2	3	4	CK	5	6	7	8	CK
IV	CK	13	14	15	16	CK	1	2	3	4	CK	5	6	7	8	CK	9	10	11	12	CK

图 1-5 16 个处理的间比设计小区排列示意图 (阶梯式)

(I、II、III、IV 表示重复，1、2、3、...、16 表示处理，CK 表示对照)

I	CK	1	2	3	4	CK	5	6	7	8	CK	9	10	11	12	CK	13	14	15	16	CK
II	CK	16	15	14	13	CK	12	11	10	9	CK	8	7	6	5	CK	4	3	2	1	CK
III	CK	1	2	3	4	CK	5	6	7	8	CK	9	10	11	12	CK	13	14	15	16	CK
IV	CK	16	15	14	13	CK	12	11	10	9	CK	8	7	6	5	CK	4	3	2	1	CK

图 1-6 16 个处理的间比设计小区排列示意图 (逆向式)

(I、II、III、IV 表示重复，1、2、3、...、16 表示处理，CK 表示对照)

2. 设计特点 与对比设计类似，间比设计也应用了田间试验设计的重复和局部控制两个原则。由于每一段 (即连续 4 个、9 个或 19 个) 处理两侧都有对照作比较，在减少因土壤肥力差异造成的试验误差方面具有一定程度的作用。间比设计的另一个优点是可以比较方便地安排大量的处理，对照所占试验地较对比设计少，适宜在处理数较多时 (如新品种选育中原始材料观察和早期的品系选择或株系鉴定) 使用。