

第三版前言

普通高等教育“十一五”规划教材《田间试验与统计分析》(第二版)于2008年5月由科学出版社出版以来,有20多所高等院校选用其作为植物生产类本科专业生物统计课程教材。由于该教材“深入浅出,难易适中,是一本难得的、非常适用于高等农业院校本科教学的优秀教材”,受到使用院校师生的欢迎和好评。为使该教材更加完善,科学出版社组织多所高校教师联合编写了《田间试验与统计分析》(第三版)。经申报评审,本书立项为科学出版社普通高等教育“十二五”规划教材予以出版,由四川农业大学明道绪教授继续担任主编。

本书编写组由四川农业大学明道绪教授、曹墨菊教授、刘永建教授、单虹丽副教授,湖南农业大学欧阳西荣教授,贵州大学刘仁祥教授,甘肃农业大学徐向宏副教授,华南农业大学刘桂富副教授,山西农业大学季兰副教授,吉林农业大学王奇副教授,云南农业大学朱永平副教授、毛孝强副教授,西南大学王久光副教授,江西农业大学张丽霞副教授,福建农林大学季彪俊副教授组成,并于2012年4月14~15日在甘肃农业大学召开了编写会议。在本次会议上,教材主编明道绪教授传达了科学出版社对教材编写的要求,对本书编写大纲、编写计划作了说明,各位与会参编人员对教材的修改、内容的增删、章节的调整进行了认真、热烈的讨论,审定了《编写大纲》、明确了编写分工及教材编写的具体要求。

本书是在《田间试验与统计分析》(第二版)的基础上修订而成,仍包括11章:第一章,田间试验(欧阳西荣、王久光编写);第二章,资料的整理与描述(王奇编写);第三章,常用概率分布(徐向宏编写);第四章,假设检验(季彪俊编写);第五章,方差分析的基本原理与步骤(明道绪、刘永建编写);第六章,方差分析的实际应用(单虹丽、曹墨菊编写);第七章,正交设计(张丽霞编写);第八章, χ^2 检验(朱永平、毛孝强编写);第九章,直线回归与相关分析(刘仁祥编写);第十章,多元线性回归与相关分析(季兰编写);第十一章,协方差分析(刘桂富编写)。建议选学内容用“*”注明。书后附有常用生物统计方法的SAS程序(刘永建编写)、常用数理统计表(徐向宏选编)。初稿完成后,由主编明道绪教授负责统稿。

本书在《田间试验与统计分析》(第二版)基础上作了以下改动。对章节顺序作了调整,将第二版的第十章、第十一章改为第六章、第七章。在第四章假设检验中,强调假设检验以样本统计数作为检验对象,通过检验对总体参数作出统计推断,所有假设检验的结论都是对总体而言;详细介绍了检验两个总体方差是否相同的统计方法——两尾 F 检验,增加了方差一致性检验用的 F 值表(两尾)。在第八章增加了第四节,介绍方差一致性检验Bartlett法。将第二版附录中的“常用统计分析软件简介”改为“常用生物统计方法的SAS程序”。对个别建议选学内容作了精简。更换了少数例题、习题。更正了已发现的个别笔误。对基本概念、基本原理、基本方法的叙述作了必要的修改、增删。

本书在编写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、对热情指导和大力支持编写工作的科学出版社一并表示衷心感谢！

虽然本书已对第二版中的有关内容作了调整、精简，对已发现的个别笔误作了更正，但限于编者水平，书中疏漏、不足仍在所难免，敬请生物统计学专家学者和广大读者批评、指正，以便再版时修改。

编 者

2012 年 12 月 18 日

第一版前言

“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，做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

第三版前言

第一版前言

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	10
第三节 田间试验方案	12
一、田间试验的种类	12
二、拟订试验方案的基本要求	14
三、拟订试验方案的方法	16
第四节 田间试验设计方法	17
一、顺序排列设计	17
二、随机排列设计	21
第五节 田间试验的实施步骤	27
一、田间试验计划的制订	27
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、田间观察记载与测定	32
七、收获、脱粒与室内考种	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	35
四、成片抽样	37
习题	38
第二章 资料的整理与描述	39
第一节 资料的整理	39
一、资料的分类	39

二、资料的检查与核对	40
三、资料整理的方法	40
四、常用统计表与统计图	44
第二节 资料的描述	49
一、资料的集中性描述——平均数	49
二、资料的离散性描述——变异数	53
习题	57
第三章 常用概率分布	58
第一节 事件与概率	58
一、事件	58
二、概率	59
三、小概率事件实际不可能性原理	61
第二节 概率分布	61
一、随机变量	61
二、离散型随机变量的概率分布	62
三、连续型随机变量的概率分布	62
第三节 二项分布	63
一、伯努利试验及其概率公式	63
二、二项分布的定义与特征	64
三、二项分布的概率计算及应用条件	65
四、二项分布的平均数与标准差	66
第四节 正态分布	66
一、正态分布的定义与特征	67
二、标准正态分布	68
三、正态分布的概率计算	68
第五节 样本平均数抽样分布与标准误	72
一、样本平均数抽样分布	73
二、标准误	75
第六节 t 分布、 χ^2 分布和 F 分布	76
一、 t 分布	76
二、 χ^2 分布	77
三、 F 分布	77
习题	78
第四章 假设检验	80
第一节 假设检验的基本原理	80
一、假设检验的意义	80
二、假设检验的步骤	81
三、显著水平与两种类型的错误	83
四、两尾检验与一尾检验	84
五、假设检验的注意事项	85

第二节 单个样本平均数的假设检验	86
第三节 两个样本平均数的假设检验	87
一、非配对设计两个样本平均数的假设检验	87
二、配对设计两个样本平均数的假设检验	91
第四节 百分率资料的假设检验	92
一、单个样本百分率的假设检验	92
二、两个样本百分率的假设检验	93
三、百分率资料假设检验的连续性矫正	94
第五节 参数的区间估计	96
一、正态总体平均数 μ 的置信区间	96
二、二项总体百分率 p 的置信区间	97
习题	97
第五章 方差分析的基本原理与步骤	99
第一节 方差分析的基本步骤	99
一、数学模型与基本假定	100
二、平方和与自由度的分解	101
三、 F 检验	104
四、多重比较	106
* 五、单一自由度的正交比较	113
第二节 单因素完全随机设计试验资料的方差分析	116
一、各处理重复数相等的单因素完全随机设计试验资料的方差分析	116
二、各处理重复数不等的单因素完全随机设计试验资料的方差分析	118
第三节 两因素完全随机设计试验资料的方差分析	120
一、两因素交叉分组完全随机设计试验资料的方差分析	121
二、两因素系统分组完全随机设计试验资料的方差分析	137
* 第四节 方差分析模型分类与期望均方	141
一、处理效应分类	141
二、方差分析模型分类	142
三、期望均方	142
四、方差分量估计	145
第五节 数据转换	146
习题	149
第六章 方差分析的实际应用	152
第一节 单因素随机区组设计试验资料的方差分析	152
一、数学模型与期望均方	152
二、分析实例	153
* 三、缺区估计与资料分析	156
第二节 单因素拉丁方设计试验资料的方差分析	158
一、数学模型与期望均方	158
二、分析实例	159

* 三、缺区估计与资料分析·····	162
第三节 两因素随机区组设计试验资料的方差分析·····	164
一、数学模型与期望均方·····	164
二、分析实例·····	165
第四节 两因素裂区设计试验资料的方差分析·····	170
一、数学模型与期望均方·····	170
二、分析实例·····	172
* 三、缺区估计与资料分析·····	179
习题·····	181
* 第七章 正交设计·····	185
第一节 正交设计原理和方法·····	185
一、正交设计原理·····	185
二、正交表及其特性·····	186
三、正交设计方法·····	188
第二节 正交设计试验资料的方差分析·····	190
一、单个观测值正交试验资料的方差分析·····	190
二、有重复观测值正交试验资料的方差分析·····	197
第三节 因素间有交互作用的正交设计与试验资料的方差分析·····	202
习题·····	207
第八章 χ^2 检验·····	209
第一节 统计数 χ^2 ·····	209
一、统计数 χ^2 的意义·····	209
二、 χ^2 的连续性矫正·····	210
第二节 适合性检验·····	211
一、适合性检验的意义·····	211
二、适合性检验的方法·····	211
* 三、资料分布类型的适合性检验·····	213
第三节 独立性检验·····	215
一、独立性检验的意义·····	215
二、独立性检验的方法·····	215
* 第四节 方差一致性检验·····	220
习题·····	222
第九章 直线回归与相关分析·····	225
第一节 直线回归分析·····	226
一、直线回归方程的建立·····	226
二、直线回归的假设检验·····	229
* 三、直线回归的区间估计·····	232
第二节 直线相关分析·····	234
一、决定系数与相关系数·····	234
二、相关系数的假设检验·····	236

三、直线回归分析与直线相关分析的关系	237
四、直线回归分析与直线相关分析的注意事项	237
* 第三节 可直线化的曲线回归分析	238
一、曲线回归分析的意义	238
二、曲线函数的直线化	239
习题	242
* 第十章 多元线性回归与相关分析	244
第一节 多元线性回归分析	244
一、多元线性回归方程的建立	244
二、多元线性回归的假设检验	249
三、剔除偏回归系数不显著的自变量	253
第二节 复相关分析	258
一、复相关系数的意义及计算	258
二、复相关系数的假设检验	259
第三节 偏相关分析	260
一、偏相关系数的意义及计算	260
二、偏相关系数的假设检验	263
习题	265
第十一章 协方差分析	266
第一节 协方差与协方差分析	266
一、协方差的意义	266
二、协方差分析的意义与功用	266
第二节 单因素完全随机设计试验资料的协方差分析	267
第三节 单因素随机区组设计试验资料的协方差分析	275
习题	280
主要参考文献	282
附录一 常用生物统计方法的 SAS 程序	284
附录二 常用数理统计表	297
附表 1 标准正态分布表	297
附表 2 标准正态分布两尾分位数 u_{α} 值表	299
附表 3 t 值表 (两尾)	299
附表 4 F 值表 (右尾, 方差分析用)	300
附表 5 F 值表 (方差一致性检验用, 两尾, $\alpha=0.05$)	304
附表 6 q 值表	305
附表 7 SSR 值表	307
附表 8 χ^2 值表 (右尾)	308
附表 9 r 与 R 临界值表	309
附表 10 常用正交表	310

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载培作物,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,是田间各种自然环境条件综合作用的结果。选育新的高产优质品种、认识作物的生长发育规律、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。新的农业科研成果、从外地引进的新品种、新技术是否增产显著等,也必须在大面积生产的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,田间试验占有重要的和不可替代的地位。

由于农业科学试验的材料和内容具有多样性和复杂性,除田间试验外,还要采用多种其他试验方式予以配合,如实验室试验、温室试验、人工气候箱(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),简化试验条件和过程,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推广应用,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。

田间试验的环境条件就是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容易获得预期的效果,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、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) 田间试验研究的对象和材料是作物,以作物生长发育的反应作为试验指标研究其生长发育规律、探索其高产栽培技术或条件的效果。不同作物有不同的遗传特性,同一作物的不同品种也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的需要。田间试验是在自然条件下进行的试验,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,都会因时间、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。

由于作物生长发育受气候条件的影响和限制,所以田间试验的季节性也很强。而且,田间试验的周期长,从试验开始到结束,常常需要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,才能获得可靠结果。

(3) 田间试验普遍存在试验误差。由于田间试验受到试验因素以外各种内在的、外在的非试验因素的影响,特别是受到客观存在的土壤差异的影响,使田间试验结果常常包含不同来源的试验误差。因此,在进行田间试验的过程中,应采取各种措施尽量降低试验误差,采用相应的统计分析方法分析试验资料,以正确估计试验误差,得到可靠的结论。

(二) 田间试验的任务与作用

田间试验的根本任务是在自然大田生产条件下,选育新的作物品种和改良农业生产技术,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。

田间试验有下述两个主要作用。

(1) 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,必须通过田间试验才能被广泛地应用到农业生产实践中去;生产实践的经验也须通过田间试验才能上升为理论,更有效地指导农业生产。

(2) 田间试验研究成果能推动农业生产和农业科学向前发展。通过田间试验探索作物的生长发育规律及其与自然环境和栽培条件的关系,制订出合理而有效的增产技术措施,以实现农业的高产、高效、优质。田间试验还可以作为示范,推动大面积生产;同时推广、传授先进技术,培养农业技术人员,促进农业技术革命,提高农业科学水平。

(三) 田间试验的要求

作物生长在自然环境的土壤中,其生长发育过程始终受到各种外界环境因素的综合影响。各地的自然环境条件不同,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也不尽相同。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,使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水平上发挥应有的作用,对田间试验有以下基本要求。

(1) 试验目的要明确。为了提高农业生产的水平和效益,推动农业科学发展,在深入生产实际调查和阅读大量农业科技文献的基础上,选择有科学性、创新性、针对性、现实性、预见性的研究课题进行试验研究,以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。试验的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区性,研究成果的推广应用可能受到限制。试验的先进性是指试验研究除了结合当前实际外,还要考虑农业生产的发展前景,试验条件既要代表目前生产水平,还要注意将来可能被广泛采用的条件,考虑其

他学科的发展对农业生产的影响,使试验结果既能满足当前需要,有推广应用价值,又有一定前瞻性,推动农业生产和农业科学发展。

(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。由于田间试验过程中各种条件的变化和差异,常常不可避免地产生或大或小的试验误差,试验误差影响研究结果的正确性和可靠性。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) 又称为准确度,是指某一试验指标或性状的观测值与该试验指标或性状观测值总体平均数接近的程度。设某一试验指标或性状观测值总体平均数为 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, 若 x 与 μ 相差的绝对值 $|x - \mu|$ 大, 则观测值 x 的准确性低。精确性 (precision) 也称为精确度, 是指同一试验指标或性状的重复观测值彼此接近的程度。若同一试验指标或性状的任意两个观测值 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, 若同一试验指标或性状的任意两个观测值 x_i 、 x_j 相差的绝对值 $|x_i - x_j|$ 大, 则观测值精确性低。

试验的准确性、精确性合称为试验的正确性。由于实际试验中试验指标或性状观测值总体平均数 μ 常常不知道, 所以准确性不易度量, 但是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, 必须保证试验条件的一致性, 除了设置的试验处理的差异外, 其他所有管理措施和条件要尽可能相同; 要准确地执行各项试验技术, 避免发生人为的错误; 还必须做到观察记载标准要明确、一致, 同一项目或性状的观察记载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条件的代表性和试验的正确性。一般来说, 只要试验条件的代表性好, 试验结果正确, 试验结果是能够重演的。田间试验结果的重演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, 在相同条件下再次进行同一试验可允许试验结果略有出入 (如产量略高或略低), 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, 以对各供试品种作出全面正确的评价。

二、田间试验常用术语

1. 试验指标 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 (experimental index)。由于试验目的不同, 选择的试验指标也不尽相同。田间试验作物的许多农艺性状、品质性状、生理生化指标, 如产量、株高、穗长、穗数、每穗粒数、千粒重、饱满度、结实率、发芽率、蛋白质含量、纤维长度和强度、酶活性等都可以作为试验指标。

2. 试验因素 试验中人为控制的、影响试验指标的原因或条件称为试验因素(experimental factor)。例如,研究小麦高产栽培技术,品种、密度、播种期、施氮量等都对产量有影响,均可作为试验因素予以研究。只研究一个因素对试验指标影响的试验称为单因素试验;同时研究两个或两个以上因素对试验指标影响的试验称为多因素试验。试验因素常用大写英文字母 A、B、C…分别表示。

3. 因素水平 对试验因素所设定的质的不同状态或量的不同级别称为因素水平(factor level),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(质的不同状态)就是品种这个试验因素的 5 个水平;研究 4 种施氮量对水稻产量的影响,这 4 种施氮量(量的不同级别)就是施氮量这个试验因素的 4 个水平。因素水平一般用代表该因素的英文字母添加下标 1, 2…表示,如 $A_1, A_2 \dots; B_1, B_2 \dots$ 等。

4. 试验处理 事先设计好的实施在试验单位上的具体项目称为试验处理(experimental treatment),简称处理。进行单因素试验,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,实施在试验单位上的具体项目就是种植某品种小麦。所以进行单因素试验,试验因素的一个水平就是一个处理。进行多因素试验,实施在试验单位上的具体项目是试验因素的某一水平组合。例如,进行 3 个小麦品种(A)和 4 种播种密度(B)的两因素试验,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组合。又如,进行 3 个施氮量(A)、3 个施磷量(B)和 3 个施钾量(C)的三因素试验,共有 $3 \times 3 \times 3 = 27$ 个水平组合,实施在试验单位上的具体项目就是某一施氮量、某一施磷量、某一施钾量的组合。所以进行多因素试验,试验因素的一个水平组合就是一个处理。

5. 试验小区 实施一个试验处理的一小块长方形土地称为试验小区(experimental plot),简称小区。

6. 试验单位 实施试验处理的材料单位称为试验单位(experimental unit),亦称试验单元。试验单位可以是田间试验的一个小区,盆栽试验的一个钵,微生物培养基配方试验的一个培养皿,也可以是一穴、一株、一穗、一个器官等。

7. 总体与个体 根据研究目的确定的研究对象的全体称为总体(population),其中的一个研究对象称为个体(individual)。个体是统计研究中最基本的单位,根据田间试验的研究目的,它可以是某品种水稻的一个小区产量,某品种小麦的一个麦穗的小穗数,某品种玉米的一个百粒重等。也就是说,统计研究的个体就是对作物的某一性状或试验指标通过观察、测量所获得的一个观测值。相应的总体是某品种水稻小区产量观测值的全体、某品种小麦麦穗小穗数观测值的全体、某品种玉米百粒重观测值的全体等。根据总体全部个体计算所得的总体特征数称为参数(parameter),总体参数通常用希腊字母表示,如总体平均数 μ 、总体标准差 σ 等。

8. 有限总体与无限总体 包含有限个个体的总体称为有限总体(finite population),其个体数目常记为 N 。例如,某品种小麦麦穗的小穗数观测值总体虽然包含的个体数目很多,但仍为有限总体。包含无限多个个体的总体称为无限总体(infinite population)。例如,在统计学理论研究上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设总体。例如,进行几个小麦品种比较试验获得这几个小麦品种的小区产量观测值,实际上并不存在种植这几个小麦品种小区产量观测值

总体，只是假设有这样的总体存在，把所进行的试验获得的这几个小麦品种的小区产量观测值当成是这几个小麦品种小区产量观测值总体的一个样本。

9. 样本 从总体中抽取的一部分个体组成的集合称为样本 (sample)。根据样本全部个体计算所得的样本特征数称为统计数 (statistic)，统计数常用小写英文字母表示，如样本平均数 $\bar{x}$ 、样本标准差 s 等。样本统计数是相应总体参数的估计值，如样本平均数 $\bar{x}$ 是总体平均数 μ 的估计值、样本标准差 s 是总体标准差 σ 的估计值等。

研究的目的是了解总体，但通常能得到的却是样本。由样本推断总体是统计分析的基本手段，因此，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。抽样的随机性是指总体的各个体均有同等的概率被抽取；抽样的独立性是指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 样本所包含的个体数目称为样本容量 (sample size)，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。

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

由于受到试验因素以外各种内在的、外在的非试验因素的影响使观测值与试验处理观测值总体平均数之间产生的差异称为试验误差，简称误差 (error)。田间试验误差可分为系统误差和随机误差两类。

1. 系统误差 在一定试验条件下，由某种原因所引起的使观测值发生方向性的误差称为系统误差 (systematic error)，又称为偏性 (bias)。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。产生系统误差的常见原因有仪器差异、方法差异、试剂差异、条件差异、顺序差异、人为差异等，如试验地肥力按一定方向有规律地变化、试验分析药品纯度差异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、药品等研究条件不同而异，所以实际观测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。

系统误差是某种方向性原因形成的，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。从事田间试验的研究人员必须熟识本研究领域、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等，控制、降低，以及避免系统误差的产生。

2. 随机误差 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 (random error)。例如，将某品种小麦采用相同的栽培技术种植在土壤肥力相近的相邻几个小区上，由于受许多无法控制的内在和外在的偶然因素影响，其株高、小区产量等虽然

接近但不完全相同。这种误差就是随机误差。随机误差具有偶然性,在试验中,即使十分小心地控制也难以消除。随机误差影响试验的精确性。统计分析的试验误差主要指随机误差。这种误差越小,试验的精确性越高。

(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。田间试验误差的来源可以概括为以下三个方面。

1. 试验材料的差异 田间试验的供试材料通常是作物。不同作物、不同品种的遗传特性及作物个体的生长发育状况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、秧苗的长势和长相等品质之间的差异,均可对试验结果产生一定影响,导致试验误差的产生。

2. 试验操作和田间管理技术的差异 作为试验材料的作物在田间生长周期较长,在试验过程中各种试验操作和田间管理技术的任何疏忽和不一致,如整地、播种、施肥、中耕除草、灌溉、病虫害防治等操作与管理技术在时间上、质量上不完全一致都会对作物的生长发育产生影响,从而导致试验误差的产生。

3. 外界环境条件的差异 各种外界环境条件不一致对试验处理的影响,导致试验误差的产生。田间试验外界环境条件的差异主要是指试验地的土壤差异和肥力不均匀所导致的差异,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,对各处理的影响也不尽相同,而且这些影响的出现与影响程度是难以预测的,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结果,造成系统误差或随机误差。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,获得可靠的试验结果,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,采取相应的措施避免或降低非试验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,秧苗生长发育状况应一致。对大小、壮弱不同的秧苗分级,将同一级别的秧苗安排在同一区组的各小区,或将各级秧苗按比例分配给各小区。

2. 采用标准化的操作管理技术 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的小区面积和较大的工作量,整个试验地做到完全一致是不容易的。实际工作中的一切操作管理,都应贯彻“局部控制”原则,以区组为单位进行,区组内的一切操作管理应做到完全一致。例如,若全部试验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均匀一致。这样,即使各天之间出现

差异，但由于区组的局部控制功能而得到控制，不影响处理间的正确比较。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、施肥的均匀程度等均可能出现差异，因此若有数人进行同一项操作，最好由一人独立完成一个区组的某项操作。

3. 控制土壤差异对试验结果的影响 引起田间试验误差的主要外界环境条件是土壤差异。如果能够有效地控制土壤差异，减少土壤差异对试验结果的影响，就能有效地降低外界环境条件引起的田间试验误差，提高试验的正确性。控制土壤差异的主要措施有：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方法。

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基础条件，土壤差异是田间试验误差最主要、最普遍的来源。田间试验设计、小区安排和试验实施过程中，许多减少试验误差的措施主要都是针对控制土壤差异而采取的。土壤差异的形成有以下两个原因。

一是土壤形成的基础，即成土母质或地形地势不同，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。虽然土壤形成基础产生的差异往往导致系统误差，但只要了解土壤差异情况，合理安排试验小区，可以使其对试验结果的影响降低达到最小。

二是土壤利用过程中产生的差异。土壤利用的历史不同，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导致土壤差异。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，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，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土地利用情况，这对降低田间试验误差，提高试验正确性有十分重要的意义。

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状况是否一致予以判断。更精细地测定土壤肥力差异可采用空白试验。空白试验是指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；对作物生长状况仔细观察，遇有特殊情况，如严重缺株、病虫害等，注明地段、行数，以便将来分析时予以考虑；收获时，将整个试验地划分为若干个形状与面积相同的小区，依次编号，分开收获，得到产量数据。根据各小区的产量高低，就可获知试验地土壤差异情况。

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

（二）试验地的选择

正确选择试验地是减小土壤差异、控制试验误差和提高试验正确性的重要措施。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、土质等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地段,不宜选择靠近楼房、高树等屏障旁边的地段,以免遮阴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 平地的土壤水分和养分等条件的均匀性一般优于坡地,产生的试验误差通常较小。如果试验地高低不平,就会造成土壤水分、温度和养分的较大差异,增大试验误差,也不便于田间管理。若没有平地,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 如果试验处理数目较多,试验占地面积较大,至少应做到一个区组的土壤结构和肥力尽可能均匀一致。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,土壤结构和肥力容易均匀一致。

4. 试验地应有土地利用的历史记载 以往土壤利用的不同对肥力的分布、均匀性,甚至土壤结构都会有较大影响,因此应根据试验地土地利用的历史记载,选择近年来在土地利用上相同或接近的田块。对不宜连作的作物,应避免选用多年连续种植该作物的田块。

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土壤肥力较均匀一致的土地上,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也受到较大影响,在一定时间内难以恢复,只能用做一般生产,以期试验地的土壤肥力逐渐恢复均匀性。

三、田间试验设计的基本原则

田间试验设计(field experimental design)有广义与狭义之分。广义的田间试验设计是指田间试验计划的拟订,包括试验名称,试验目的及其依据,试验时间和地点,试验地的基本情况,试验方案,试验设计,试验地耕作、播种和田间管理措施及其质量要求,试验取样和收获计产方法,试验资料的统计分析方法和要求,试验所需的土地面积、经费、人工及主要仪器设备,田间种植图,观察记载表、室内考种表等内容。狭义的田间试验设计是指小区技术,按照试验的目的要求和试验地的具体情况将重复区和小区在试验地上做最合理的设置,将试验处理在重复区内各个小区上做最合理的排列。

田间试验设计通常是指狭义的田间试验设计。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,从而对试验结果进行精确的统计分析。

田间试验设计应遵循以下三个基本原则。

(一) 重复

重复(replication)是指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处理的重复数。当一个试验的每个处理都各设置在

1 个试验单位上时,称为无重复试验;当一个试验一部分处理各设置在 1 个试验单位上,另一部分处理各设置在 2 个或 2 个以上试验单位上时,称为部分处理有重复的试验;当一个试验的每个处理都各设置在 2 个试验单位上时,称该试验有 2 次重复;当一个试验的每个处理都各设置在 3 个试验单位上时,称该试验有 3 次重复;依此类推。重复有下述两个主要作用。

1. 估计试验误差 如果一个处理只设置在 1 个试验单位上,只能得到试验指标(如小区产量)的 1 个观测值,无法估计试验误差的大小。只有当同一处理设置在 2 个或 2 个以上的试验单位上,即同一处理有 2 次或 2 次以上重复,获得 2 个或 2 个以上试验指标的观测值时,才可从试验指标重复观测值之间的差异来估计试验误差。

2. 降低试验误差 统计学已证明,表示样本平均数抽样误差大小的样本平均数标准误 $s_{\bar{x}}$ 与样本标准差 s 和样本容量 n 之间的关系为 $s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$,即样本平均数抽样误差的大小与重复次数的平方根成反比。所以适当增大重复次数可以降低试验误差,提高试验的精确性。

(二) 随机排列

试验研究中的随机有 3 个含义:一是分组随机,使每个试验单位有同等机会被分配到各处理组;二是抽样随机,使总体中每个个体有同等机会被抽取;三是试验顺序随机,使每个试验单位先后接受处理的机会相同,避免时间顺序的影响。田间试验设计的随机排列(random assortment)是指每一试验处理都有同等机会排列在一个重复(区组)内的任何一个小区上。随机排列与重复结合,就能获得试验误差的无偏估计。田间试验的随机排列可以采用抽签法或随机数字法进行。

(三) 局部控制

当试验小区数目较多、整个试验地面积较大,而试验环境或试验小区差异较大时,如果仅根据重复和随机排列两个原则进行试验设计,不能将试验环境或试验小区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小区划分成若干个小环境或区组,在小环境或区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(local control)。

田间试验设置重复是为了降低试验误差,但又因设置重复扩大了试验地的面积从而增大试验地的土壤差异,若将同一处理各重复小区在整块试验地中完全随机排列,则因土壤差异增大而减小重复降低误差的作用。划分区组(block)进行局部控制就能弥补这一不足。不同处理随机设置在同一区组(重复)内的各试验小区上,因为同一区组的试验小区相邻,土壤差异较小,土壤差异较大的区组间的差异可利用适当的统计分析方法将其从试验误差中分离出来。也就是说,试验误差不因设置重复扩大了试验地面积而增大,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必须遵循的三个基本原则。采用这三个基本原则进行田间试验设计,就能降低试验误差、无偏估计试验误差,从试验结果中提

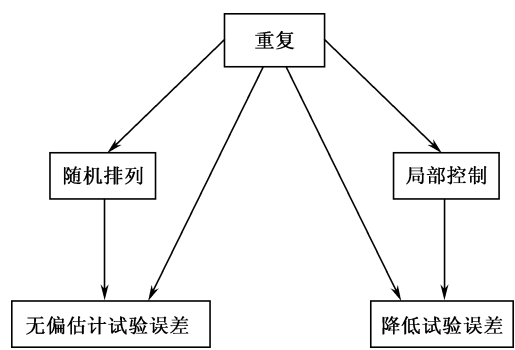


图 1-1 田间试验设计的三个基本原则的关系和作用

取可靠结论。田间试验设计的三个基本原则的关系和作用如图 1-1 所示。

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误差, 提高试验精确性。小区技术主要包括以下几个方面。

(一) 小区面积

小区面积的大小与减少土壤差异的影响和提高试验的精确性有密切关系。在一定范围内增大小区面积, 可以减少试验误差, 因为小区面积太小, 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、瘦部分的可能性较大, 小区间土壤差异的程度相应缩小, 从而降低试验误差。

但小区面积增大的幅度与降低试验误差的效果不成比例, 即小区面积增大到一定程度以后, 试验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大很多, 不但工作量大增加, 多费人力、物力, 而且土壤差异也增大。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, 适当增大小区面积。

研究性试验的小区面积一般为 $6 \sim 30\text{m}^2$, 示范性试验的小区面积通常不小于 300m^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; 品种比较试验的小区面积可小些。
2. 作物类别 依作物植株个体的大小、种植密度的大小确定小区面积。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、玉米植株个体较大, 种植密度较小, 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表现形式 试验地的面积大时, 可采用较大的小区面积; 土壤差异大的, 小区面积应大些; 土壤差异小的, 小区面积可小些; 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, 品系数量由多到少, 种子数量由少到多, 对精确性的要求从低到高, 小区面积亦应从小到大。
5. 保证试验收获计产的准确性 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, 必须考虑取样的需要、边际效应与生长竞争的影响。在田间试验进行的过程中, 常常需要在田间取样以便进行各种测定。取样可能影响其周围植株的生长, 因而有可能影响最终小