

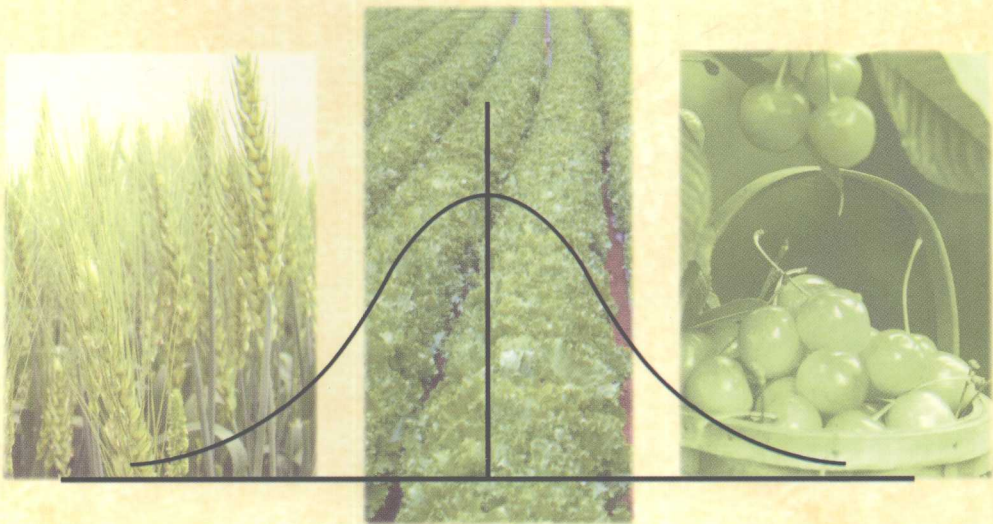



普通高等教育“十一五”规划教材

# 田间试验与统计分析

(第二版)

明道绪 主编



 科学出版社  
www.sciencep.com

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)

明道绪 主编

数据 (CIP) 数据

田间试验与统计分析(明道绪主编) 第二版 北京: 科学出版社, 2008

2008

(普通高等教育“十一五”规划教材)

ISBN 978-7-03-023212-3

I. 田… II. 明… ①田间试验-高等学校-教材 ②农业统计-高等学校-教材

IV. 23-32

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第023207号

责任编辑: 董文全、曹任斌、李 勇  
责任印制: 张克忠、封面设计: 韩春蕾、张子工

科学出版社

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2008年8月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2008年4月第 二 版 印张: 18.34

2008年4月第 四 次 印刷 字数: 444 000

## 科学出版社

(北京) 中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第023207号

## 内 容 简 介

本书是根据植物生产类(包括农学、林学、茶学、草学、园艺、生物技术等)本科专业培养目标及课程学时的要求,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,经多所高校教师编写而成。全书共11章,包括田间试验、资料的整理与描述、常用概率分布、假设检验、方差分析、 $\chi^2$ 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,书末附有常用统计分析软件简介和统计数学表。

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植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. —2版. —北京:科学出版社, 2008

(普通高等教育“十一五”规划教材)

ISBN 978-7-03-021215-3

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(2008)第027307号

责任编辑:甄文全/责任校对:鲁素

责任印制:张克忠/封面设计:耕者设计工作室

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>

源海印刷有限责任公司印刷

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

2008年4月第二版 印张:18 3/4

2008年4月第四次印刷 字数:444 000

印数:13 001—18 000

定价:26.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

## 编写者名单

- 主 编** 明道绪（四川农业大学）
- 副主编** 欧阳西荣（湖南农业大学）  
徐向宏（甘肃农业大学）  
刘永建（四川农业大学）
- 参编者** （以姓氏拼音排序）  
曹墨菊（四川农业大学）  
季 兰（山西农业大学）  
金 凤（内蒙古农业大学）  
孔祥丽（石河子大学）  
刘桂富（华南农业大学）  
刘仁祥（贵州大学）  
刘永建（四川农业大学）  
毛孝强（云南农业大学）  
明道绪（四川农业大学）  
欧阳西荣（湖南农业大学）  
单虹丽（四川农业大学）  
王久光（西南大学）  
王 奇（吉林农业大学）  
徐向宏（甘肃农业大学）  
周以飞（福建农林大学）  
朱永平（云南农业大学）

## 第二版前言

21世纪高等院校教材《田间试验与统计分析》于2005年8月由科学出版社出版。经两年多的使用,受到师生欢迎和好评,认为“本教材是此类教材中较为优秀的版本”,但也发现有个别地方尚须改进。科学出版社决定立项,组织本教材“第二版”的编写出版,并继续聘请四川农业大学明道绪教授任主编。

《田间试验与统计分析》(第二版)由四川农业大学明道绪教授、曹墨菊教授、湖南农业大学欧阳西荣教授、福建农林大学周以飞教授、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、内蒙古农业大学金凤副教授、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、贵州大学刘仁祥教授、石河子大学孔祥丽副教授、西南大学王久光副教授、四川农业大学单虹丽副教授、刘永建副教授合作编写。于2007年5月16日~17日在四川农业大学都江堰分校召开了编写会议。在编写会议上,科学出版社对第二版的编写提出了要求;教材主编对第二版的编写作了说明;各位参编人员对教材内容的修改、增删进行了认真、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。

《田间试验与统计分析》(第二版)仍包含十一章,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(周以飞编写);第五章:方差分析(明道绪、刘永建、孔祥丽编写);第六章: $\chi^2$ 检验(朱永平、毛孝强编写);第七章:直线回归与相关分析(刘仁祥编写);第八章:多元线性回归与相关分析(季兰编写);第九章:协方差分析(刘桂富编写);第十章:试验资料的方差分析(单虹丽、曹墨菊编写);第十一章:正交设计试验资料的方差分析(金凤编写)。选学内容用“\*”注明。附有常用统计分析软件简介和常用统计数学表。初稿完成后,由明道绪教授负责统稿,对基本概念、基本原理、基本方法的叙述仔细推敲、斟酌,作了必要的修改、增删。

《田间试验与统计分析》第二版与第一版相比做了以下改动:删去了常用生物统计方法的SAS程序,代之以常用统计软件简介;删去了汉英名词对照表;删去了对学生学习、掌握试验设计与统计分析方法有一定负面影响的习题参考答案;将第四章标题显著性检验更改为假设检验;更正了已发现的个别笔误或排版错误;对个别章节做了精简与调整。

虽然第二版已对第一版中的有关内容做了精简与调整,对已发现的个别笔误或排版错误做了修改更正,但限于编者水平,错误、缺点仍在所难免,敬请相关专家和广大读者批评指正,以便再版时修改。

编者

2008年1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）， $\chi^2$  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

第二版前言	1
第一版前言	1
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、拟定试验方案的基本要求	14
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	17
一、顺序排列设计	18
二、随机排列设计	21
第五节 田间试验的实施步骤	27
一、田间试验计划的制定	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	31
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	34
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 .....	43
第二节 资料的描述 .....	48
一、资料的集中性描述——平均数 .....	48
二、资料的离散性描述——变异数 .....	53
习题 .....	56
<b>第三章 常用概率分布</b> .....	57
第一节 事件与概率 .....	57
一、事件 .....	57
二、概率 .....	58
三、小概率事件实际不可能性原理 .....	60
第二节 概率分布 .....	60
一、随机变量 .....	60
二、离散型随机变量的概率分布 .....	60
三、连续型随机变量的概率分布 .....	61
第三节 二项分布 .....	62
一、贝努利试验及其概率公式 .....	62
二、二项分布的意义及性质 .....	63
三、二项分布的概率计算及应用条件 .....	64
四、二项分布的平均数与标准差 .....	64
第四节 正态分布 .....	65
一、正态分布的定义与主要特征 .....	65
二、标准正态分布 .....	66
三、正态分布的概率计算 .....	67
第五节 样本平均数抽样分布与标准误 .....	71
一、样本平均数抽样分布 .....	71
二、标准误 .....	73
第六节 $t$ 分布、 $\chi^2$ 分布与 $F$ 分布 .....	74
一、 $t$ 分布 .....	74
二、 $\chi^2$ 分布 .....	75
三、 $F$ 分布 .....	76
习题 .....	76
<b>第四章 假设检验</b> .....	78
第一节 假设检验的基本原理 .....	78
一、假设检验的意义 .....	78
二、假设检验的步骤 .....	79
三、显著水平与两种类型的错误 .....	81



四、两尾检验与一尾检验	82
五、假设检验应注意的问题	83
第二节 单个样本平均数的假设检验	84
第三节 两个样本平均数的假设检验	86
一、非配对设计两个样本平均数的假设检验	86
二、配对设计两个样本平均数的假设检验	90
第四节 百分率资料的假设检验	91
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	95
一、正态总体平均数 $\mu$ 的置信区间	95
二、二项总体百分率 $p$ 的置信区间	96
习题	96
<b>第五章 方差分析</b>	<b>98</b>
第一节 方差分析的基本原理与步骤	98
一、数学模型与基本假定	99
二、平方和与自由度的分解	100
三、 $F$ 检验	103
四、多重比较	105
* 五、单一自由度的正交比较	111
第二节 单因素完全随机设计试验资料的方差分析	114
一、各处理重复数相等的方差分析	114
二、各处理重复数不等的方差分析	116
第三节 两因素完全随机设计试验资料的方差分析	118
一、两因素交叉分组试验资料的方差分析	118
二、两因素系统分组试验资料的方差分析	132
* 第四节 方差分析处理效应分类与期望均方	136
一、处理效应分类	136
二、期望均方	136
三、方差分量的估计	139
第五节 数据转换	139
习题	142
<b>第六章 <math>\chi^2</math> 检验</b>	<b>145</b>
第一节 统计数 $\chi^2$	145
一、统计数 $\chi^2$ 的意义	145
二、 $\chi^2$ 的连续性矫正	146
第二节 适合性检验	146
一、适合性检验的意义	146

58	二、适合性检验的方法	147
58	* 三、资料分布类型的适合性检验	149
58	<b>第三节 独立性检验</b>	150
58	一、独立性检验的意义	150
58	二、独立性检验的方法	151
60	习题	155
	<b>第七章 直线回归与相关分析</b>	157
59	<b>第一节 直线回归分析</b>	158
59	一、直线回归方程的建立	158
59	二、直线回归的假设检验	161
59	* 三、直线回归的区间估计	164
59	<b>第二节 直线相关分析</b>	165
59	一、决定系数和相关系数	165
59	二、相关系数的假设检验	167
59	三、直线相关分析与回归分析的关系	167
59	四、进行直线回归与相关分析的注意事项	168
59	* <b>第三节 可直线化的曲线回归分析</b>	169
59	一、曲线回归分析的意义	169
59	二、曲线回归的直线化	169
60	习题	173
	* <b>第八章 多元线性回归与相关分析</b>	174
61	<b>第一节 多元线性回归分析</b>	174
61	一、多元线性回归方程的建立	174
61	二、多元线性回归的假设检验	179
61	三、剔除不显著的自变量	183
61	四、自变量的相对重要性	187
61	<b>第二节 复相关分析</b>	188
61	一、复相关系数的意义及计算	188
61	二、复相关系数的假设检验	189
61	<b>第三节 偏相关分析</b>	190
61	一、偏相关系数的意义及计算	191
61	二、偏相关系数的假设检验	193
61	习题	194
	<b>第九章 协方差分析</b>	196
61	<b>第一节 协方差分析的意义和功用</b>	196
61	一、协方差分析的意义	196
61	二、协方差分析的功用	196
61	<b>第二节 单因素完全随机设计试验资料的协方差分析</b>	197
61	<b>第三节 单因素随机区组设计试验资料的协方差分析</b>	203

习题	208
<b>第十章 试验资料的方差分析</b>	209
<b>第一节 单因素随机区组设计试验资料的方差分析</b>	209
一、数学模型与期望均方	209
二、分析实例	210
* 三、缺区估计与结果分析	213
<b>第二节 单因素拉丁方设计试验资料的方差分析</b>	215
一、数学模型与期望均方	215
二、分析实例	216
* 三、缺区估计与结果分析	219
<b>第三节 两因素随机区组设计试验资料的方差分析</b>	221
一、数学模型与期望均方	221
二、分析实例	222
<b>第四节 两因素裂区设计试验资料的方差分析</b>	227
一、数学模型与期望均方	227
二、分析实例	229
* 三、缺区估计与结果分析	236
习题	238
<b>* 第十一章 正交设计试验资料的方差分析</b>	241
<b>第一节 正交设计原理和方法</b>	241
一、正交设计的基本原理	241
二、正交表及其特性	242
三、正交设计方法	244
<b>第二节 正交设计试验资料的方差分析</b>	246
一、单个观测值正交试验资料的方差分析	246
二、有重复观测值正交试验资料的方差分析	251
<b>第三节 因素间有交互作用的正交设计与分析</b>	255
习题	259
<b>参考文献</b>	261
<b>附录 常用统计分析软件简介</b>	263
<b>附表 常用统计数学表</b>	270
附表 1 正态分布表	270
附表 2 正态分布的双侧分位数 $u$ 值表	272
附表 3 $t$ 值表 (两尾)	272
附表 4 $F$ 值表 (一尾方差分析用)	273
附表 5 $q$ 值表	277
附表 6 SSR 值表	279
附表 7 $\chi^2$ 值表 (右尾)	280
附表 8 $r$ 与 $R$ 显著数值表	281
附表 9 常用正交表	282

# 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。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。对于新的科研成果、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。

由于农业科学试验材料和内容的多样性和复杂性,除田间试验外,还须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),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。

田间试验的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。不同作物有不同的遗传特性,同一作物的不同品种也有不同的遗传特性,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。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,常常需要农作物的整个生长季节,有的试验一年只能进行一次,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 (experimental error)。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,试验基础条件的差异对供试作物各个体的生长发育的影响有差异,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,又要注意取样技术等问题,尽量减少试验误差,还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) 田间试验的任务与作用

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。

田间试验的主要作用是:

(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,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。

(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,提高农业科技水平。

## (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水平上发挥应有的作用,对田间试验提出以下几点要求。

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、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和生产水平,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,又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,有推广应用价值,又要有一定前瞻性,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  $\mu$ , 观测值为  $x$ , 若  $x$  与  $\mu$  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之间彼此接近的程度。若重复观测值彼此接近, 即任意两个观测值  $x_i$ 、 $x_j$  相差的绝对值  $|x_i-x_j|$  小, 则观测值精确性高; 反之则低。试验的准确性、精确性合称为试验的正确性。由于真值  $\mu$  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, 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的正确性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。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, 田间试验中不仅农作物本身具有变异性, 在农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的评价。

## 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) 试验因素是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、施氮量等都对产量有影响, 均可作为试验因素。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的因素对试验指标影响的试验称为多因素试验。试验因素

常用大写字母 A、B、C…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 种施氮量对小麦产量的影响, 这 4 种施氮量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字母添加下标 1、2…来表示, 如  $A_1$ 、 $A_2$ …,  $B_1$ 、 $B_2$ …。

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。在单因素试验时, 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。在多因素试验时, 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 (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。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) 试验单位是指施加试验处理的材料单位, 也称为试验单元。试验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) 根据试验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。根据总体全部观测值计算出来的某性状的特征数称为参数 (parameter), 总体参数通常用希腊字母表示, 如总体平均数  $\mu$ 、标准差  $\sigma$  等。

8. 有限总体 (finite population) 与无限总体 (infinite population) 包含有限个个体的总体称为有限总体。有限总体的个体数目常记为  $N$ 。例如, 某品种水稻植株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。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想总体。例如, 进行几个小麦品种比较试验, 实际上并不存在种植这几个小麦品种的总体, 只是假设有这样的总体存在, 把所进行的试验看成是假想总体的一个样本。

9. 样本 (sample) 从总体中抽取的一部分供观察测定的个体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。根据样本观测值计算出来的某性状的特征数称为统计数 (statistic), 统计数常用小写英文字母来表示, 如样本平均数  $\bar{x}$ 、标准差  $s$  等。

由样本特征来推断其总体性质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, 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) 对样本中各个体的某种性状、特性予以称量、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

由于田间试验受到试验因素以外的各种内在的、外在的非试验因素的影响, 常常使得试验处理的真值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, 受非试验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) 系统误差是指在一定试验条件下, 由某种原因所引起观测值具有方向性的误差, 又称偏性。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的变化、试验分析药品纯度差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领域研究、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, 以控制、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。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、秧苗的长势长相等有差异, 均可对试验结果产生一定影响而导致试验误差的出现。

2. 试验操作和田间管理技术的差异 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, 引起试验误差。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, 对作物性状观测记载和测定时间、标准、人员以及所用仪器或工具等的不一致, 均会产生试验误差。

3. 环境条件的差异 各种环境条件不一致对试验处理的影响, 均会导致试验误差的产生。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。病虫害侵袭、人畜践踏、风雨等影响, 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, 获得可靠的试验结论, 必须严格控制试验误差。控制试验误差要根据试验误差的来源, 采取相应的措施来避免或减少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, 区组内的一切操作管理做到完全一致。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, 即使各天之间出现差异, 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 田间试验引起误差的主要外界因素是土壤