

全国高等农林院校“十一五”规划教材

□□□□□□□□□□□□□□□□

# 试验设计与统计分析

金 益 主编

中国农业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

试验设计与统计分析 / 金益主编. —北京: 中国农业出版社, 2007. 8

全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-109-11845-4

I. 试… II. 金… III. ①试验设计(数学)—高等学校—教材②统计分析(数学)—高等学校—教材 IV. 0212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 107196 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 100026)

责任编辑 李国忠

---

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月北京第 1 次印刷

---

开本: 820mm×1080mm 1/16 印张: 21

字数: 502 千字

定价: 29.50 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

**主 编** 金 益 (东北农业大学)

**副 主 编** (按姓氏拼音排序)

陈志斌 (沈阳农业大学)

崔党群 (河南农业大学)

黄亚群 (河北农业大学)

黄玉碧 (四川农业大学)

**编写人员** (按姓氏拼音排序)

陈志斌 (沈阳农业大学)

崔党群 (河南农业大学)

付凤玲 (四川农业大学)

高利萍 (内蒙古农业大学)

关 欣 (沈阳农业大学)

胡希远 (西北农林科技大学)

黄亚群 (河北农业大学)

黄玉碧 (四川农业大学)

金 益 (东北农业大学)

宁海龙 (东北农业大学)

唐燕琼 (华南热带农业大学)

王玉顺 (山西农业大学)

詹克慧 (河南农业大学)

詹秋文 (安徽科技学院)

周美兰 (湖南农业大学)

# 前 言



“试验设计与统计分析”又称“田间试验与统计分析”、“生物统计学与田间试验”等，是高等农林院校植物生产类专业（农学、植物保护、园艺、植物生物技术等）及其相关专业的专业基础课，主要讲授农业科学试验的设计、实施和试验结果的统计分析方法，为学习专业课程和从事农业科学研究、农业技术推广等工作奠定基础。

本教材分为 12 章，系统地介绍农业科学试验的基本知识和生物统计学的基本概念、试验设计和实施的原则和方法、试验资料的整理和描述方法、统计推断的原理和方法、次数资料的统计分析方法、方差分析的原理和方法、常用试验设计的统计分析方法、多因素试验和多年多点试验的统计分析、直线回归和相关分析的原理和方法、多元线性回归和相关分析的原理和方法、非线性回归分析的原理和方法等。虽然多数院校已单独开设了概率论课程，但为了知识的系统性本教材仍保留了概率分布这一章。为了进一步学习和实际应用的需要，本教材在相关章节里较多地介绍了方差分析和回归分析的数学模型等理论性较强的内容，也介绍了单个自由度方差分析和作物密度与产量关系的回归分析等实用性较强的内容。为了方便与 SAS 等常用统计软件对接，本教材的许多例题在给出了临界  $t$  值或  $F$  值的同时还给出了与计算得到的  $t$  值或  $F$  值相对应的概率。本教材作为高等农业院校植物生产类专业及其相关专业的教材时，讲授完全部内容大约需要 70 学时，使用者也可根据具体情况选讲其中的内容。本教材可与《试验设计与统计分析学习指导》和《试验设计与统计分析上机指导》配合使用，也可单独使用。本教材也可作为广大农业科技工作者、农业生产管理人员和其他专业人员的参考书。

本教材的编写分工为：第 1 章、第 12 章和附表由东北农业大学金益和宁

海龙编写，第2章由河北农业大学黄亚群编写，第3章由内蒙古农业大学高利萍编写，第4章由山西农业大学王玉顺编写，第5章由河南农业大学崔党群和詹克慧编写，第6章由华南热带农业大学唐燕琼编写，第7章由安徽科技学院詹秋文编写，第8章由湖南农业大学周美兰编写，第9章由四川农业大学黄玉碧和付凤玲编写，第10章由西北农林科技大学胡希远编写，第11章由沈阳农业大学陈志斌和关欣编写。全书由金益、陈志斌、崔党群、黄亚群和黄玉碧负责审稿，最后由金益定稿。

本教材引用了一些文献的例题和图表，在此谨向有关作者表示感谢，同时也对关心和支持本教材编写和出版的中国农业出版社和有关院校领导表示感谢。最后，诚挚地希望读者对书中的错误和不足之处予以指正，以利于今后的修订。

编者

2007年6月

# 目 录



## 前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 农业科学试验的任务和要求 .....	1
1.1.1 农业科学试验和田间试验 .....	1
1.1.2 农业科学试验的任务和来源 .....	1
1.1.3 农业科学试验的基本要求 .....	2
1.2 试验误差及其控制 .....	3
1.2.1 试验误差 .....	3
1.2.2 试验误差的来源 .....	3
1.2.3 试验误差的控制 .....	4
1.3 生物统计学与农业科学试验 .....	5
1.3.1 部分生物统计学基本概念 .....	6
1.3.2 生物统计学的形成与发展 .....	7
1.3.3 生物统计学在农业科学试验中的作用和注意问题 .....	7
<b>第 2 章 试验的设计和和实施</b> .....	9
2.1 试验方案 .....	9
2.1.1 试验方案的概念和类别 .....	9
2.1.2 处理效应 .....	11
2.1.3 试验方案的设计要点 .....	13
2.2 试验设计原则 .....	15
2.2.1 重复 .....	15
2.2.2 随机排列 .....	15
2.2.3 局部控制 .....	15
2.3 小区技术 .....	16
2.3.1 小区 .....	16
2.3.2 区组和小区的排列 .....	17
2.3.3 保护行 .....	18
2.4 常用的试验设计 .....	19
2.4.1 对比法设计 .....	19
2.4.2 间比法设计 .....	19

2.4.3	完全随机设计 .....	20
2.4.4	随机区组设计 .....	20
2.4.5	拉丁方设计 .....	22
2.4.6	裂区设计 .....	23
2.5	试验的实施 .....	26
2.5.1	试验的计划 .....	26
2.5.2	土地准备 .....	27
2.5.3	种子准备 .....	27
2.5.4	播种 .....	28
2.5.5	试验管理 .....	28
2.5.6	试验调查记载 .....	29
2.5.7	收获与测产 .....	29
2.6	田间抽样 .....	31
2.6.1	样本单位和容量 .....	31
2.6.2	样本单位配置 .....	32
<b>第3章</b>	<b>描述性统计 .....</b>	<b>35</b>
3.1	次数分布 .....	35
3.1.1	次数分布表 .....	35
3.1.2	次数分布图 .....	40
3.1.3	其他常用统计图 .....	43
3.2	平均数 .....	45
3.2.1	算术平均数 .....	45
3.2.2	总体平均数 .....	48
3.2.3	几何平均数 .....	48
3.2.4	中数和众数 .....	49
3.2.5	调和平均数 .....	51
3.3	变异数 .....	51
3.3.1	极差 .....	51
3.3.2	方差 .....	52
3.3.3	标准差 .....	53
3.3.4	变异系数 .....	56
3.3.5	四分位距 .....	57
<b>第4章</b>	<b>概率分布 .....</b>	<b>58</b>
4.1	事件和概率 .....	58
4.1.1	事件 .....	58
4.1.2	事件之间的关系和运算 .....	59
4.1.3	概率 .....	61
4.1.4	概率计算法则 .....	62

4.2 随机变量及其分布 .....	64
4.2.1 随机变量 .....	64
4.2.2 随机变量的概率分布 .....	65
4.2.3 随机变量的数学特征 .....	67
4.2.4 大数定律 .....	70
4.3 二项分布和泊松分布 .....	72
4.3.1 0-1 分布 .....	72
4.3.2 二项分布 .....	73
4.3.3 泊松分布 .....	75
4.4 正态分布 .....	77
4.4.1 概率密度 .....	78
4.4.2 分布函数 .....	79
4.4.3 期望和方差 .....	80
4.4.4 正态分布的标准化变换 .....	80
4.4.5 正态分布的概率计算 .....	81
4.5 抽样分布 .....	83
4.5.1 0-1 总体抽样分布 .....	84
4.5.2 正态总体抽样分布 .....	85
4.5.3 概率分布的分位数 .....	88
4.5.4 抽样分布定理 .....	92
4.5.5 中心极限定理 .....	95
<b>第 5 章 统计推断</b> .....	<b>98</b>
5.1 统计假设检验的基本原理 .....	98
5.1.1 统计假设检验的意义和内容 .....	98
5.1.2 统计假设检验的基本步骤 .....	99
5.1.3 两尾检验与一尾检验 .....	101
5.1.4 假设检验的两类错误 .....	102
5.2 平均数的假设检验 .....	105
5.2.1 单个样本平均数的假设检验 .....	106
5.2.2 两个独立样本平均数相比较的假设检验 .....	106
5.2.3 配对小样本差数平均数的假设检验 .....	109
5.2.4 成对数据比较与成组数据比较的区别 .....	111
5.3 二项资料百分数的假设检验 .....	112
5.3.1 单个样本百分数的假设检验 .....	112
5.3.2 两个样本百分数相比较的假设检验 .....	114
5.4 方差的假设检验 .....	116
5.4.1 单个样本方差的假设检验 .....	116
5.4.2 两个样本方差相比较的假设检验 .....	117
5.4.3 多个样本方差相比较的假设检验 .....	117

5.5	参数的区间估计 .....	119
5.5.1	总体平均数的估计 .....	119
5.5.2	总体平均数差数的估计 .....	121
5.5.3	二项总体百分数的区间估计 .....	123
5.5.4	二项总体百分数差数的区间估计 .....	124
5.5.5	总体方差的估计 .....	125
<b>第6章</b>	<b><math>\chi^2</math> 检验 .....</b>	<b>126</b>
6.1	$\chi^2$ 检验概述 .....	126
6.1.1	次数资料的 $\chi^2$ .....	126
6.1.2	$\chi^2$ 检验的基本方法及其应用 .....	127
6.2	$\chi^2$ 适合性检验 .....	127
6.2.1	次数资料的适合性检验 .....	127
6.2.2	拟合优度检验 .....	129
6.3	$\chi^2$ 独立性检验 .....	133
6.3.1	$2 \times 2$ 联列表的检验 .....	134
6.3.2	$2 \times c$ 联列表的检验 .....	136
6.3.3	$r \times c$ 联列表的检验 .....	137
<b>第7章</b>	<b>方差分析 .....</b>	<b>139</b>
7.1	方差分析的意义 .....	139
7.2	方差分析的步骤 .....	140
7.2.1	自由度与平方和的分解 .....	140
7.2.2	F 检验 .....	142
7.2.3	多重比较 .....	143
7.3	方差分析的数学模型与期望均方 .....	148
7.3.1	数学模型 .....	148
7.3.2	期望均方 .....	149
7.4	方差分析的基本假定和数据转换 .....	151
7.4.1	基本假定 .....	151
7.4.2	数据转换 .....	152
7.5	单个自由度方差分析 .....	154
7.5.1	正交系数 .....	154
7.5.2	平方和的分解 .....	156
7.5.3	F 检验和平均差数分析 .....	157
<b>第8章</b>	<b>单因素试验的统计分析 .....</b>	<b>159</b>
8.1	顺序排列试验的统计分析 .....	159
8.1.1	对比法试验的统计分析 .....	159

8.1.2	间比法试验的统计分析	161
8.2	单因素完全随机试验的统计分析	162
8.2.1	组内观察值数目相等的完全随机试验的统计分析	163
8.2.2	组内观察值数目不等的完全随机试验的统计分析	166
8.2.3	组内又可分为亚组的完全随机试验的统计分析	169
8.3	单因素随机区组试验的统计分析	173
8.3.1	单因素随机区组试验结果的统计分析	174
8.3.2	单因素随机区组试验的线性模型和期望均方	177
8.3.3	单因素随机区组试验的缺区估计	179
8.4	拉丁方试验的统计分析	182
8.4.1	拉丁方试验结果的统计分析	182
8.4.2	拉丁方的线性模型与期望均方	185
<b>第9章</b>	<b>多因素试验的统计分析</b>	<b>186</b>
9.1	二因素完全随机试验的统计分析	186
9.1.1	无重复二因素交叉分组完全随机试验的统计分析	186
9.1.2	有重复二因素交叉分组完全随机试验的统计分析	190
9.2	二因素随机区组试验的统计分析	195
9.2.1	二因素随机区组试验的线性模型与期望均方	195
9.2.2	二因素随机区组试验统计分析示例	197
9.3	二因素裂区试验的统计分析	201
9.3.1	二因素裂区试验的数学模型与期望均方	201
9.3.2	二因素裂区试验统计分析示例	203
9.4	多点和多年试验的统计分析	208
9.4.1	一年多点试验的统计分析	209
9.4.2	多年多点试验的统计分析	213
9.5	多年生作物试验的统计分析	219
<b>第10章</b>	<b>直线回归与相关</b>	<b>222</b>
10.1	回归和相关的意义	222
10.2	直线回归	224
10.2.1	直线回归方程与参数估计	224
10.2.2	直线回归方程的计算	225
10.2.3	直线回归方程的图示	226
10.2.4	直线回归的估计标准误	226
10.2.5	直线回归的数学模型和基本假定	227
10.3	直线回归的假设检验	228
10.3.1	$t$ 检验	228
10.3.2	$F$ 检验	228

10.4	回归预测与控制	229
10.4.1	预测	229
10.4.2	控制	231
10.5	直线相关	232
10.5.1	相关系数	233
10.5.2	相关系数的假设检验	234
10.5.3	决定系数	235
10.6	直线回归与相关的内在关系和应用要点	235
10.6.1	直线回归与相关的内在关系	235
10.6.2	直线回归与相关的应用要点	236
<b>第 11 章</b>	<b>多元线性回归与相关</b>	<b>238</b>
11.1	多元线性回归	238
11.1.1	多元线性回归方程及计算	238
11.1.2	多元线性回归的假设检验	242
11.1.3	多元线性回归分析实例	245
11.1.4	回归平方和与偏回归平方和的关系	252
11.1.5	多元线性回归的置信区间	253
11.2	多元线性相关和偏相关	254
11.2.1	多元线性相关	255
11.2.2	偏相关	256
11.2.3	多元线性相关和偏相关分析实例	257
11.2.4	偏相关(回归)和简单相关(回归)的关系	259
11.3	通径分析	260
11.3.1	基本概念	260
11.3.2	通径系数的导出	261
11.3.3	通径系数的性质	262
11.3.4	通径系数的计算	262
11.3.5	通径系数的假设检验	264
11.3.6	通径分析实例	265
11.3.7	直接和间接效应分析	267
<b>第 12 章</b>	<b>非线性回归</b>	<b>269</b>
12.1	可化为直线回归的非线性回归	269
12.1.1	指数曲线回归分析	269
12.1.2	幂函数曲线回归分析	271
12.1.3	对称 S 形曲线回归分析	273
12.1.4	不对称 S 形曲线回归分析	275
12.2	多项式回归分析	278

---

12.2.1 二次多项式回归分析 .....	278
12.2.2 高次多项式回归分析 .....	282
12.3 作物密度与产量关系的回归分析 .....	284
12.3.1 等差型密度-产量回归分析 .....	284
12.3.2 混合型密度-产量回归分析 .....	286
12.3.3 等比型密度-产量回归分析 .....	289
12.3.4 抛物线型密度-产量回归分析 .....	291
附表1 正态分布函数表 .....	294
附表2 正态分布两尾临界值表 .....	297
附表3 $\chi^2$ 分布右尾临界值表 .....	298
附表4 $t$ 分布两尾临界值表 .....	300
附表5 $F$ 分布右尾临界值表 (上 $F_{0.05}$ ) (下 $F_{0.01}$ ) .....	302
附表6 Dunnett's $Dt$ 两尾临界值表 .....	309
附表7 $q$ 两尾临界值表 .....	311
附表8 Duncan's $SSR$ 两尾临界值表 .....	315
附表9 $r$ 和 $R$ 两尾临界值表 .....	317
附表10 二项分布置信区间表 .....	319
主要参考文献 .....	323

# 第 1 章

## 绪 论

### 1.1 农业科学试验的任务和要求

#### 1.1.1 农业科学试验和田间试验

科学试验是人类认识自然和征服自然的重要实践活动之一。中国是一个农业大国，农业是国民经济的基础。科学技术是第一生产力，农业与其他行业一样，其发展也离不开科学技术的进步，而农业科学技术的进步离不开农业科学试验。

田间试验 (field experiment) 是农业科学试验的主要形式。这是因为农业科学的主要研究对象——各种作物都是复杂的高等有机体，它们在整个生活过程中随时都在与环境进行复杂的联系，环境条件的任何变化都将或多或少地影响其生长发育乃至最终的产量和品质。作物生产主要在田间进行。因此，只有在与作物的实际生产条件相近的田间进行的试验中表现优良的农业科学研究成果才有可能在生产实践中得到推广应用，发挥其增产增收的作用。

农业科学试验也可以在实验室、温室乃至人工气候室中进行。但是，这些试验方法尚不能取代田间试验，因为其试验条件与田间的实际生产条件不同。这些方法的主要优点是能较严格地控制某些在田间难以控制的环境条件，如温度、湿度、日照强度和日照长度、空气的成分等，因而特别适合研究一些理论问题。例如，作物生长发育的规律，某些环境条件的变化对生长发育的影响规律，器官、组织、细胞、染色体乃至分子水平的遗传规律等。对于主要面向农业生产实践的农业科学来说它们都是有效的辅助性试验方法。

#### 1.1.2 农业科学试验的任务和来源

##### (1) 农业科学试验的任务

农业科学试验是直接为农业生产服务的。因此，农业科学试验的基本任务是研究各种农业科学理论和技术，考察研究成果的实际表现，客观地评价其推广价值和应用范围。主要包括：

- ①品种试验 考察新育成或引进品种的丰产性、品质、抗病性和适应性等。
- ②丰产试验 考察新的丰产栽培技术的可行性和增产增收效果等。
- ③耕作试验 考察新的耕作技术的增产效果和水土保持效果等。
- ④植保试验 考察新的农药及使用方法的应用效果和对环境的影响等。

⑤土肥试验 考察新的肥料和施肥技术的实际效果和对土壤的影响等。

上述试验一般都需要在田间进行。

## (2) 农业科学试验任务的来源

农业科学试验任务的来源主要有以下几个。

①从当时当地的农业生产实践中提取 农业科学试验特别是田间试验是直接为农业生产服务的，因此，当时当地农业生产中亟须解决的问题是农业科学试验任务的首要来源。例如，干旱地区需要开展选育抗旱品种和节水灌溉的研究，土壤瘠薄地区需要进行改土培肥的研究等。

②政府下达 根据农业生产发展和农村经济结构调整的需要，国家和各级地方政府的农业和科研主管部门经常会下达一些研究项目或项目指南。现阶段国家和地方政府组织的攻关项目、自然科学基金项目和高新技术项目中都有许多需要开展田间试验的农业科学研究内容。

③科学研究的需要 农业科学工作者经常需要通过各种科学试验来开展有关作物生长发育和遗传规律以及作物与环境之间相互关系等的研究。虽然其中的许多内容也可以在实验室、温室或人工气候室中进行，但是在田间开展更符合作物的实际生长情况因而经常是一个必不可少的研究环节。

④横向协作 不同地区和不同单位之间经常有相同或类似的项目需要进行研究，但各个地区或单位的条件不同，不可能也不必要都开展研究。通常可以委托具备较好条件的地区或单位来进行独立研究或协作研究。因此，受其他地区或单位的委托进行研究也是农业科学试验任务的一个重要来源。

### 1.1.3 农业科学试验的基本要求

农业科学试验种类繁多，试验条件复杂多变而且难以控制。因此，对它的要求与其他科学试验不完全一样。但是，下述基本要求却是必须达到的。

#### (1) 试验目的的明确性

农业科学试验是直接为农业生产服务的，因此必须抓住当时当地农业生产和科研中亟待解决的理论或实际问题，并适当照顾到在不久的将来即将突出的问题和长远的问题。试验的目的应具体现实，在现有条件下能够完成或基本完成。研究者对试验的主要结果及其在农业生产中的应用前景要有初步的估计。

#### (2) 试验条件的代表性

农业科学试验特别是田间试验的条件应能代表试验结果预期推广地区的自然条件（地势、土壤、气候等）和生产条件（种植制度、施肥水平、水利条件等）。只有这样，试验结果才能反映所研究的科研成果在预期地区的表现，才有可能在预期地区推广应用。同时，也要辩证地看待试验条件的代表性，要预计到生产条件的进步及其发展趋势，使试验结果既符合当前的需要，又不落后于生产的发展。

#### (3) 试验结果的可靠性

农业科学试验结果的可靠性与试验设计、试验条件、试验操作和试验误差都有关系。为了获得可靠的试验结果，试验设计要尽可能合理，试验条件要尽可能一致，试验操作要尽可能准确，试验误差要尽可能小。总之，试验者必要的专业知识水平、严格的科学态度和高度的责任心是获

得可靠的试验结果的必要保证。

#### (4) 试验结果的重演性

重演性 (reperformance) 指在相似条件下重复进行同一试验应能获得相似的结果。这对于研究成果能否推广应用至关重要, 一个重复不出来的试验结果是毫无意义的, 因而也不可能得到推广。重演性与试验条件的代表性和试验结果的可靠性有关。为此, 许多农业科学试验包括田间试验要在不同地点或年份间重复进行, 以克服地点和年份间差异对试验结果的影响, 增加试验条件的代表性和试验结果的可靠性。

## 1.2 试验误差及其控制

### 1.2.1 试验误差

在农业科学试验特别是田间试验中, 试验材料和试验处理由于受到许多试验因素以外的各种内外条件变化的干扰, 使对于试验结果的观察值 (observed value) 与试验材料和处理的理论真值 (theoretical value) 不相等。我们把试验中某一性状的观察值与相应理论真值接近的程度称为试验的准确度 (accuracy); 把试验中某一处理的重复观察值之间彼此接近的程度称为精确度 (precision)。在实践中, 处理的理论真值常常是未知数, 所以准确度往往不易测得。试验的精确度是可以估算的, 它实际上是试验误差的一种度量。田间试验的观察值中既包含了处理本身的效应, 也包含了许多非处理因素的效应, 我们称试验观察值中非处理因素的效应为试验偏差 (deviation)。

根据试验偏差产生原因的不同, 可将试验偏差分为两种类型。第一种是由于试验材料和处理以外其他条件明显而有规律、有方向的不一致而造成的定向性偏差, 称为系统误差 (system error) 或片面误差。这种误差可以事先观测到并经过合理的试验设计消除或减少。另外一种是由那些难以预测和控制的偶然因素造成的无规律、偶然的偏差, 称为随机误差 (random error)。田间试验中的偶然因素很多而且难以预料和控制, 因而试验中的随机误差是不可避免的, 只能通过合理的试验设计和精心组织试验实施及管理来减少而不能完全消除。通常所说的试验误差都是指由偶然因素造成的试验观察值与处理理论真值之间的无规律的偏差, 简称误差 (error)。

### 1.2.2 试验误差的来源

农业科学试验所用材料为活的有机体, 而进行试验的主要场所田间又受着许多难以控制的自然条件的影响, 所以其试验误差一般要比工业和理化试验的误差大得多。了解试验误差的来源对有效地减少误差具有现实意义。农业科学试验的误差有以下几种来源。

#### (1) 试验材料固有的差异

这是指试验中各处理的供试材料在遗传和生长发育上的差异或其他在试验之前就已经存在的差异。如试验品种的纯度不够, 种子、秧苗或砧木的大小不一致, 化肥或农药的有效成分含量不一致等。

#### (2) 试验过程中操作质量不一致所引起的差异

这是指在试验实施过程中, 播种的深浅、种植密度、中耕除草、灌溉、施肥等操作和管理方

面在质量上不完全一致；以及对试验结果进行观察和测定时，不同试验材料和处理的观察时间、标准、人员和所用工具或仪器等不完全一致而造成的差异。

### (3) 进行试验的外界条件的差异

造成试验误差的外界条件很多，包括许多偶然因素，其变化都会引起试验误差。田间试验中引起误差的外界条件主要是试验地土壤差异及肥力不均匀所引起的差异、病虫害的不均匀分布、人畜践踏等外来因素，以及其他以目前的人力尚无法控制的自然因素引起的差异，如冰雹、旋风等对不同试验材料和处理造成的不同程度的影响和危害。

以上所述的各项差异都在不同程度上影响处理效应的表现而构成试验误差。对田间试验而言，土壤质地和肥力不均匀所引起的误差最大，是误差控制的重点。试验误差和试验中发生的错误有本质的不同。错误是指未按试验方案的规定设置和实施试验处理和管理的现象。在试验过程中，错误是不允许发生的，而试验误差却是不可能完全避免的。但是，试验者可针对试验误差的来源采取不同的措施来降低误差，以提高试验的准确性。

## 1.2.3 试验误差的控制

控制试验误差的目的在于提高试验的准确性。这就必须针对试验误差的来源，采取适当的措施加以控制。采取的措施主要有以下几个方面。

### (1) 选择同质、一致的试验材料

针对试验材料固有差异引起的误差，应严格要求试验材料的纯度和生长发育上的一致性。如果试验材料的生长发育不一致，如秧苗的大小、壮弱不一致而又必须使用时，可按秧苗的大小、壮弱分档，将同一规格的秧苗安排在同一区组的处理小区，或将各档秧苗按比例混合分配于各处理，以减少试验材料的差异及其对试验结果的影响。试验所用的肥料、农药等最好是同一厂家同一生产批次的，确保其有效成分含量和杂质含量的相对一致性。

### (2) 改进试验操作和管理技术，使之标准化

针对试验质量不一致引起的误差，应注重提高试验操作人员的素质和所用设备的质量，仔细操作，尽可能做到一致。并且，一切管理操作、观察测量和数据收集都应以区组为单位进行局部控制，减少可能发生的差异。例如，整个试验的某项操作如不能在一天内全部完成，则至少应在一天内完成一个或两个区组内所有的小区。这样如果各天之间有差异，就会由于区组的划分而得到控制。同样的处理由不同的操作人员或设备来完成时也会有所差异，所以在区组面积不很大时，最好由同一个或同一组人或设备来完成一个或几个区组的处理。

### (3) 控制引起差异的外界主要因素

在田间试验过程引起差异的外界因素中，土壤差异是最主要的，必须加以适当的控制。如果能适当控制土壤差异，就可以减少土壤差异对处理的影响，有效地降低试验误差，提高试验的精确度。通常所采用的方法有以下3种：a. 选择适当的试验地；b. 采用适当的小区技术；c. 应用良好的试验设计和相应的统计方法。正确采用以上3种措施，就能有效地降低试验误差。关于b和c两种措施将在第2章中讨论，在这里只讨论选择试验地这一问题。

在自然界中，土壤差异是普遍存在的。这种差异的形成，一方面是由于土壤形成的基础不同，以至于土壤在物理性质和化学性质方面有很大差异；另一方面是由于土壤利用上的差异，如

种植不同的植物,以及在耕作、栽培、施肥等农业技术上的不一致等。土壤差异具有一定的持久性,例如田块上原有的肥力差异及由于作物栽培过程中某项技术措施上的差异所造成的肥力差异,一般将维持较长的时间。特别是施用较多有机肥后,其肥效可持续好几年。因此,选择试验地时对土壤的肥力差异应慎重考虑。

土壤差异一般有两种形式:一种是肥力高低变化,较有规律,即其肥力从试验田的一边到另一边是逐渐改变的。另一种是斑块差异,田间有明显的肥力差异斑块,面积的大小及肥力分布无一定规律。有严重斑块差异的地块不宜用做试验地。

对土壤肥力差异的估测可采用最简单的目测法和较为精确的空白试验法。目测法是通过观察作物的生长发育情况对土壤差异加以判定。空白试验法是在整个试验地上种植某作物的单一品种,通过测产来判定土壤差异。一般应选用植株较小而适合密植的谷类作物,播种要均匀,各项田间管理措施要一致、均匀。仔细观察和记载作物的生长变化情况,对有严重缺苗和病虫害的地段要有明确的标注,作为最后分析时的参考。收获时将整块地划分成若干面积相等的小区,分开收获并测产,通过分析各小区的测产数据来估计土壤肥力的差异,获得较为准确的结论。

正确地选择和使用试验地是降低试验误差的一个重要措施,对提高试验精确度有很大作用,这中间应该注意以下几个问题。

①试验地的代表性 试验地的土壤肥力,排灌条件等方面应该与服务地区相适应,并且能反映当地的农业生产水平,使试验成果能适宜在服务地区推广。

②试验地的土壤质地和肥力 试验地的土壤质地和肥力是否均匀一致对试验结果有极大的影响。并且,除了试验地原有的土壤差异以外,有些试验的处理可能对土壤条件有不同的影响,如进行过肥料试验,种植过不同的作物或采用过不同种植密度的地块,都不宜选择做试验地。如有必要选用这样的地块做试验地时,应该进行一次或多次的匀田种植或轮作。匀田种植的做法与空白试验相同,但由于其目的在于通过这种种植减少土壤差异,所以不必划分为小区收获测产。采用轮作方法也可以起到匀田种植的作用,同时还能减少前茬留下的不利于作物生长发育的因素对后茬的影响。另外,选择作为试验地的地块要有土地利用的历史记录,试验地的均匀一致性既可通过测定作物生长的均匀整齐度来判定,也可以通过对试验地块以往利用情况的了解来做出大致的估计。

③试验地的地势 试验地一般应选择平地。如果一定要利用坡地,应选择向阳的缓坡地带。有排灌要求的试验还应注意试验地的排灌条件。

④试验地的位置 试验地一般应选择阳光充足,四周有较大空旷地的地块,不宜靠近树林、房屋、道路、水塘等,以免遭受遮光影响和人、畜、鸟、积水等的影响。在试验地的周围可种植相同的作物以避免试验处理受到外来因素的偶然侵害。

### 1.3 生物统计学与农业科学试验

生物统计学 (biometrics) 是在数理统计学 (mathematical statistics) 以及农业和生物学试验方法基础上形成的综合学科,与农业科学试验特别是田间试验有着密切的联系。