

NONGYESHIYANSHEJIYUFENXI

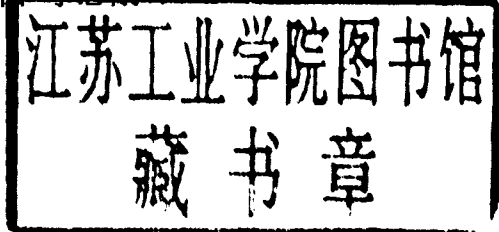
郑根昌 李志刚 田迅 编著

农业试验设计与分析

内蒙古科学技术出版社

农业试验设计与分析

郑根昌 李志刚 巴图 编著



内蒙古科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

农业试验设计与分析/郑根昌, 李志刚, 田迅编著
—赤峰: 内蒙古科学技术出版社, 2007.9
ISBN 978-7-5380-1579-9

I. 农… II. ①郑…②李…③田… III. 农业科学—
实验—基本知识 IV. S-3

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第133782号

出版发行/内蒙古科学技术出版社

地 址/赤峰市红山区哈达街南一段4号

电 话/(0476) 8224848 8231924

邮 编/024000

出 版 人/额敦桑布

组织策划/香 梅

责任编辑/刘 冲

封面设计/祝丽杰

印 刷/内蒙古民族大学印刷厂

开 本/850×1168 1/32

印 张/10.875

字 数/245千

版 次/2007年9月第1版

印 次/2007年9月1次印刷

定 价/28.50元

前 言

随着农业科学研究的不断深入,农业试验涉及的因素及水平随之增多,常用试验设计方法已不能完全满足广大科技工作者的需求。为此,本书在常用环境设计基础上提出了处理设计。处理设计保留了环境设计的优点,同时弥补了环境设计因区组过大而丧失局部控制作用及处理数过多试验难以实施等缺陷。在统计分析时,处理设计提高了主效和一级互作的估计精度,混杂效应主要是二级及二级以上高级互作;保证剩余自由度的前提下,减少重复次数,增加试验因素,更多地了解因素的效应。因此,处理设计与环境设计相比,具有试验效率高、设计目标明确、试验实施方便、统计方法简单等特点。

本书共分八章,第一章介绍了试验设计的基本概念,第二章至第八章分别阐述了七种不同处理设计。本书承蒙农业试验统计学教授李凤山、石万良审阅,杨恒山教授对全书进行了校阅,刘玉平对部分插图进行了清绘。在此谨表由衷的感谢。

农业试验设计多种多样,方法层出不穷,加之作者水平有限,缺点和错误难免,敬请批评指正。

郑根昌 李志刚 田迅

2007 年 6 月

目 录

第一章 概述	1
第一节 常用名词概念	1
第二节 试验设计原则	3
一、重复	3
二、随机排列	4
三、局部控制	5
四、三项原则的关系	6
第三节 试验设计的类别	7
一、环境设计	7
二、处理设计	7
第二章 混杂设计	12
第一节 混杂设计原理	12
第二节 2^p 设计	14
一、混杂一个效应	14
二、混杂 n 个效应	15
三、 2^p 设计的其他类型	20
第三节 3^p 设计	26
一、 3^2 设计	26
二、 3^3 设计	30
三、 3^p 设计	35
四、 3^p 设计的其他类型	42
第四节 示例与分析	50

一、 2^p 设计	50
二、 3^3 设计	59
第三章 部分实施设计	73
第一节 部分实施设计的意义	73
一、多因素试验存在的问题	73
二、混杂效应	75
第二节 $\frac{1}{2^p}$ 实施设计	78
一、 $1/2$ 实施设计	78
二、 $1/4$ 实施设计	80
三、 $1/8$ 实施设计	81
第三节 $\frac{1}{3^p}$ 实施设计	87
一、 $1/3$ 实施设计	87
二、 $1/9$ 实施设计	89
三、正交设计	94
第四节 示例与分析	100
一、 $1/2$ 实施设计	100
二、 $1/3$ 实施设计	111
三、 $1/9$ 实施设计	124
第四章 格子设计	130
第一节 格子设计的作用	130
一、格子设计的作用	131
二、格子设计的特点	131
三、格子设计的要求	132
第二节 格子设计的种类	132

一、平方格子设计	132
二、立方格子设计	136
三、矩形格子设计	141
第三节 示例与分析	143
第五章 平衡不完全区组设计	155
第一节 平衡不完全区组设计的要求	155
一、平衡不完全区组设计的要求	155
二、平衡不完全区组设计的优缺点	156
第二节 平衡不完全区组设计方法	158
一、 $V = p^2$ 、 $k = p$ 设计	158
二、 $V = p^2 - p + 1$ 、 $k = p$ 设计	161
三、循环法设计	163
四、尧敦方设计	164
第三节 示例与分析	165
第六章 回归正交设计	176
第一节 一次回归正交设计	176
一、因子空间及水平编码	177
二、设计矩阵与结构矩阵	179
三、一次回归正交设计的统计分析	182
四、吻合度测验	185
第二节 二次回归正交设计	186
一、二次回归正交设计方法	186
二、二次回归正交设计的统计分析	203
第三节 示例与分析	207
一、一次回归正交设计	207
二、二次回归正交设计	213

第七章 旋转设计	222
第一节 正交旋转组合设计	222
第二节 通用旋转组合设计	242
一、通用旋转组合设计方法	242
二、通用旋转组合设计的统计分析	258
第三节 正交区组	262
一、正交区组的划分方法	263
二、正交区组的统计分析	267
第四节 示例与分析	269
一、二次正交旋转组合设计	269
二、二次通用旋转组合设计	275
三、正交区组	284
第八章 最优设计	287
第一节 二次回归最优设计	287
第二节 回归最优设计的统计分析	298
一、回归系数的计算	298
二、回归方程式的显著性测验	301
第三节 示例与分析	305
一、无重复条件下的示例与分析	305
二、有重复条件下的示例与分析	312
附表 1 t 值表	321
附表 2 $F(5\%)$ 值表	324
附表 3 $F(1\%)$ 值表	330
附表 4 χ^2 值表	336
主要参考书目	339

第一章 概 述

第一节 常用名词概念

1. 试验设计 广义地讲试验设计是指对整个试验研究课题的设计, 包括制定试验处理方案, 因素选择与水平划分, 小区技术, 试验资料的收集、整理以及相应的统计分析方法等。试验设计也可以简单地理解成小区技术, 特别是区组和试验小区的排列方法。

进行试验设计的主要作用是降低试验误差, 提高试验的精确度, 使研究人员能从试验结果中获得无偏的试验处理真值和试验误差估计, 从而能进行正确而有效的比较。

2. 试验方案 根据试验目的与要求所拟定的进行比较一组试验处理的总称为试验方案。

3. 试验因素 通常称试验因子, 是人为控制并有待比较的一组处理因素, 简称因素或因子。影响农牧业生产的试验因素很多, 如光照、温度、水分等。可以是数量因素, 也可以是质量因素, 数量因素是解决多少的问题, 质量因素是解决优劣的问题。从控制的一个或几个因素的不同处理中比较鉴别出最佳的一个或几个处理。

4. 试验水平 也称试验水准或基准。试验因素量的不同级别或质的不同状态称为试验水平。试验水平可以是定性的, 如供试的不同品种, 具有质的区别, 称为质量水平; 也可以是定

量的，如喷施生长素的不同浓度，具有量的差异，称为数量水平。数量水平不同级别间的差异可以等间距，也可以不等间距。试验方案是由试验因素与其相应的试验水平组成，其中包括有比较的标准水平，即对照水平。

5. 试验指标 用于衡量试验效果的指示性状称试验指标。在一个试验中可以选用单一指标，也可以选用多项指标，这由专业研究对试验要求来确定。

6. 处理效应 因素的相对独立作用，是不同水平反应量之间的差异，亦是因素对性状所起的增进或减少的作用，称为处理效应。试验目的是研究解决效应的大小和通过水平的变换来控制效应。

(1)简单效应 一个因素的水平相同，另一因素不同水平间的差异属简单效应。

(2)主要效应 一个因素内各简单效应的平均数称平均效应，亦称主要效应，简称主效。

(3)交互效应 两个因素简单效应间的平均差异称为交互效应，简称交互。它反映一个因素的水平在另一因素的不同水平中反应不一致的现象。

7. 反应量 指因素取不同水平时，对应研究性状有不同的量值，这个量值总称为反应量或反应。

8. 试验处理 是水平或水平的组合。指参与试验对比的具体项目。可以是一个因素的某一水平，也可以是若干因素的水平组合。

9. 试验单元 试验中实施一个试验处理的基本单位称试验

单元。试验单元的大小在不同情况下有很大区别。如农作物试验，一个单元可以是1株、10株、100株等，随研究目的不同还可以更多。若干个试验单元可以构成区组，区组是针对局部控制而言，同一区组内各个试验单元的试验环境应该是相同或相近的。

10. 试验误差 由于环境因素的不一致性对试验处理产生的一种偶然效应称试验误差，简称误差。

(1)随机误差 一种完全偶然性的，找不出确切原因的试验误差称偶然性误差或随机误差。

(2)系统误差 有一定原因引起的试验误差称为偏差或系统误差。

第二节 试验设计原则

一、重 复

重复是指重复次数，是指在一个试验中同一个处理的试验实施数量。当一个区组内包括一次重复的全部处理数时称为完全区组或区组，当小于一次重复的全部处理数时称为不完全区组。设置重复的主要作用有以下两点：

1. 估计试验误差 同一处理若有二个以上重复时，就可以通过平均数计算出离均差，再由离均差估计试验误差。试验误差反映出同一处理不同小区间的性状差异，若没有重复是不可能得到离均差，也不可能求得试验误差。

2. 降低试验误差 在试验条件相近的情况下, 重复次数越多, 误差就越小。试验误差可由平均数的标准误表示:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$S_{\bar{x}}$ 为平均数的标准误, S 为样本标准差, n 为重复次数。通过标准误的计算式可以看出, 试验误差 $S_{\bar{x}}$ 与重复次数 n 成反比, 但随着重复次数 n 的增大, 试验误差 $S_{\bar{x}}$ 的降低愈来愈慢。因此, 在实际试验过程中, 重复次数也不宜过多, 在保证误差自由度 $DF \geq 10:12$ 的条件下, 可以适当减少重复次数, 既要保证试验研究的精确度, 又要考虑到试验实施的方便。

二、随机排列

随机排列是指在一个区组中每一处理都有同等的机会设置在任何一个试验小区上, 避免任何主观成见。进行随机排列时, 可以采用抽签法、使用计算机随机或查用随机数表的方法进行。随机排列与重复相结合, 就能提供无偏的试验误差估计值。各个处理采用随机排列的原因主要有以下两点:

1. 各个处理若不进行随机排列, 试验结果中往往带有系统误差, 使各处理间的本质差异被掩盖, 并与处理效应混杂难以区分, 通过随机排列可有效的控制系统误差。

2. 试验设计必须与相应的统计方法相配合, 而大多数较为严密的统计方法与计算公式都是建立在随机排列这个假定基

础上的。因此，采用随机排列便于使用各种统计方法和实现试验误差的无偏估计。

三、局部控制

局部控制就是将整个试验环境分成若干个相对最为一致的小环境，在小环境内设置整套处理，即在试验区内按土壤差异等非处理因素的影响划分区组或不完全区组，区组或不完全区组内的试验条件最大程度地保持一致，这种利用局部土壤差异相对一致的特性去控制非处理因素的原则称作局部控制。因为在较小地段内，试验环境条件容易控制一致。这是降低误差的重要手段之一。

区组或不完全区组是指试验条件基本相同的若干个小区的组合，如果一个区组中包含一次重复的所有处理时，这个区组为完全区组，简称为区组；如果一个区组中所包含的处理数小于一次重复的处理数时，这个区组为不完全区组。如裂区设计的主区，对副区而言就是区组，但对整个试验来说又是不完全区组。

1. 局部控制规则 在具体试验实施中，局部控制主要是通过合理的安排区组 and 小区等措施来实现的，它遵循的原则是：同一个区组或不完全区组内的各种试验条件最大程度趋于一致（如环境、技术、管理条件等），不同区组或不完全区组间允许有差异存在，因为这种差异可以通过严密的统计分析方法分解出来并予以消除。

2. 局部控制的功用 局部控制的功用主要是降低试验误差。

四、三项原则的关系

三项原则的关系见图 1-1。

1. 设置重复是首要的，没有重复另外两项原则不起作用。

2. 重复与随机排列相结合，可以实现试验误差的无偏估计；重复与局部控制相结合，可以进一步降低试验误差。

3. 重复、随机排列、局部控制三者结合起来，既可正确估计试验误差，又可有效降低试验误差，提高试验结果的可靠性。

试验设计方法因试验目的与要求不同，有简单试验设计，也有复杂试验设计。有些试验设计能够满足三项基本原则，也有些试验设计不能完全满足三项基本原则。但对于精确性要求较高的试验来说，要求三项基本原则必须具备，缺一不可。

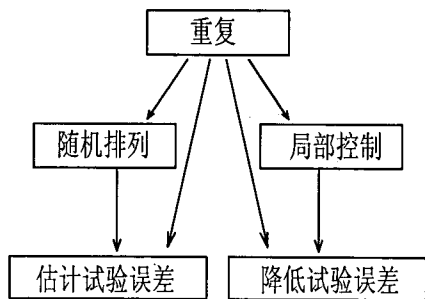


图 1-1 三项基本原则关系图

第三节 试验设计的类别

一、环境设计

环境设计是解决试验条件的不均匀分配问题。如随机区组设计、拉丁方设计、裂区设计、条区设计等，这些试验设计方法都是按照试验要求的重复数划分出区组，每一个区组又按照一次重复的处理数划分小区，每一个小区随机安排一个处理的试验方法。在试验实施过程中采用了重复、随机、局部控制三项基本原则，较好地控制环境差异及土壤肥力不均所引起的试验误差。因此，重复、随机、局部控制三项原则是环境设计的最基本原则。

二、处理设计

处理设计是在一定环境设计基础上进行的，环境设计为基本设计，处理设计为特种设计，处理设计的作用主要有以下几点：

（一）解决处理数过多使局部控制丧失作用的问题

大量的试验证明，土壤差异随试验田块的增加而变大，所以局部控制的基本单位——区组不能无限扩大，否则区组内的环境差异就无法控制，试验误差会迅速增加，从而导致局部控制丧失作用。一个区组所能容纳的处理数也不宜过多，一般不能超过 15~20 个，在此范围内局部控制尚能起作用。但在实际

试验实施中往往有 20 个以上处理,如五因素各有二个水平(2^5)的试验有 32 个处理;四因素各有三个水平(3^4)的试验有 81 个处理等。随因素及水平的增加,处理数按几何级数增长,环境差异难以控制,试验实施也难以进行。处理数过多不仅存在于多因素试验,在单因素试验中处理数过多的情况也常有,如在育种工作中,品系的比较试验有品系几十个、几百个、甚至更多。

处理设计的基本方法是划分不完全区组,使一个不完全区组包括一次重复的一部分处理。如(2^5)的试验有 32 个处理,若划分两个不完全区组,每个不完全区组有 16 个处理;划分四个不完全区组,每个不完全区组只有 8 个处理。再如(3^4)的试验有 81 个处理,若划分三个不完全区组,每个不完全区组有 27 个处理;划分 9 个不完全区组,每个不完全区组只有 9 个处理。划分不完全区组之后,局部控制作用的基本单位是不完全区组,而不是一次重复(区组),不完全区组间的变异也是可以分解的。划分不完全区组,增强局部控制作用,可以有效地降低试验误差,提高试验结果的精确度。这个基本原理用于多因素试验称为混杂设计;用于单因素试验称为格子设计。

划分不完全区组是有代价的,主要是造成某些处理效应与不完全区组混杂。在实际试验设计时,注意考虑被混杂的效应应该是无关紧要的。在多因素试验中有大量的互作存在,如(2^5)试验有 5 个主效、10 个一级互作、10 个二级互作、5 个三级互作和 1 个四级互作。主效和一级互作是试验研究的重点部分,二级及二级以上互作一般是不存在的,其意义类似于试验误差,

是混杂的主要对象。在格子设计中，不完全区组间混杂有处理效应，在处理间混杂有不完全区组效应。因此，对处理进行矫正，目的是去掉混杂在处理间的不完全区组效应，以正确评定处理效应；对不完全区组进行矫正，目的是去掉混杂在不完全区组间的处理效应，以正确估计试验误差。

（二）解决处理数过多试验难以实施的问题

多因素试验随着试验因素及水平的增加处理数增加很快。如 (3^5) 试验有 243 个处理，其中有 10 个自由度估计主效，40 个自由度估计一级互作，80 个自由度估计二级互作，80 个自由度估计三级互作和 32 个自由度估计四级互作。试验规模很大，造成试验实施操作、统计分析难以进行，也造成人力、财力、物力的不必要浪费。采用混杂设计方法，在一定程度使不完全区组内的处理数减少，增强了局部控制作用。但总试验次数并不减少，其中有大量自由度用以估计并无多大意义的高级互作，而试验研究的重点主效和一级互作所占比例很小。因此，在保证主效和一级互作能够正确估计的前提下，取处理数的一部分进行试验是可能的。如取试验处理数的 $1/2$ 作试验，处理数减少一半；取试验处理数的 $1/3$ 作试验，试验处理数就减少 $2/3$ 等。这种设计方法有二种，一是部分实施设计，二是反应面设计。

1. 部分实施设计 部分实施设计是取全部处理数的一部分处理进行试验，使每一个处理效应都有一个或若干个变名。如 (2^5) 试验有 32 个处理，若取其中的 $1/2$ 个处理进行试验，就有 16 个处理，处理数减少一半，每一个处理效应有一个变名；