

农业试验

设计与分析

刘德金 肖承和 编著

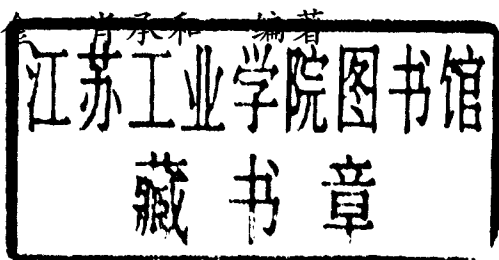
中国农业科学技术出版社

农业试验设计与分析

刘德

肖承和

编著



中国农业科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

农业试验设计与分析/刘德金,肖承和编著. —北京:
中国农业科学技术出版社,2005. 11
ISBN 7-80167-879-6

I. 农… II. ①刘…②肖… III. ①农业-试验设计(数学)②农业统计-统计分析(数学) IV. S11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 135055 号

责任编辑 出版发行	杜 洪 中国农业科学技术出版社 地址:北京中关村南大街 12 号 邮编:100081 电话:(010)68975144(发行);62145303 新华书店北京发行所 北京奥隆印刷厂 850mm×1168mm 1/32 印张:19.25 1~1500 册 字数:450 千字 2005 年 11 月第 1 版 2005 年 11 月第 1 次印刷 39.00 元
经 销	
印 刷	
开 本	
印 数	
版 次	
定 价	

前 言

恩格斯曾经指出：“数字是最严格的科学语言。”“科学是实验的科学，科学就在于用理性的方法去整理感性材料。归纳、分析、比较、观察和实验，是理性方法的主要条件。”有目的、有计划地进行农业试验和调查，并运用数理统计的方法，对所得到的数据资料进行整理、归纳和逻辑分析，是农业科学研究最基本的手段。随着我国农业科学技术水平的不断提高，人们对农业科学领域中各种量的研究将愈加深入，农业试验设计与分析方法也将愈加广泛地运用。

本书旨在学习总结前人有关这方面科学知识的基础上，以我们历年为农业院校本科生、研究生、进修教师和农业科技干部培训班授课的讲稿、讲义为基础，结合我们在水稻、大豆等的科学研究中的实例和体会，参考近年来的一些有关专著，较系统地介绍农业试验常用的设计原理、实施步骤和农业试验结果与调查资料的统计分析方法。供农业科技工作者和农业院校师生在开展农业科学实验中参考。为了便于自学，书中语言尽可能做到深入浅出，通俗易懂。在介绍每种方法时，力求详细、逐步介绍计算步骤和各种统计量。对于各项数学公式，考虑到农业科技工作者很少有时间去掌握抽象又严整的数学知识，所以均不予证明和推导，只作已知事实来加以使用。并尽量采用逻辑推理的方法加以说明，适当增加文字叙述和表达。

本书的第一、四、六、八、十和十六章由肖承和执笔。在撰写过程中，得到福建省农业科学院谢华安院长的支持和情报所有同志的帮助，谨此致谢。由于我们的水平有限，书中难免存在着缺点和错误，恳请读者批评指正。

作 者

2005 年 10 月于福州

目 录

前 言

第一章 农业试验设计的基本原理与方法	(1)
第一节 农业试验的特点、任务和要求	(1)
第二节 试验误差的来源及其控制方法	(3)
第三节 农业试验的设计原则	(6)
第四节 农业田间试验的实施	(16)
第二章 显著性测验与方差分析方法	(30)
第一节 正态分布与 t 分布的概念	(30)
第二节 显著性测验的原理与方法	(36)
第三节 方差分析的原理与步骤	(42)
第三章 完全随机设计与分析	(62)
第一节 完全随机的设计方法	(62)
第二节 完全随机设计的特点及应用	(64)
第三节 各处理重复数相等的分析	(64)
第四节 各处理重复数不等的分析	(72)
第五节 方差分析中平方和的简易计算	(78)
第六节 完全随机设计的数学模型	(80)
第四章 单因素随机完全区组设计与分析	(87)
第一节 单因素随机完全区组的设计方法	(87)
第二节 单因素随机完全区组设计的特点与应用	(89)
第三节 单因素随机完全区组试验分析	(91)
第四节 单因素随机完全区组设计的处理平方和 平衡分解法	(100)

第五节 单因素随机完全区组的缺区估计	(107)
第六节 新品系比较的增广设计与分析	(111)
第五章 多因素随机完全区组设计与分析	(118)
第一节 多因素随机完全区组设计方法	(118)
第二节 两个因素随机完全区组设计的分析	(121)
第三节 三个因素随机完全区组设计的分析	(132)
第四节 两因素随机完全区组设计的综合分析	(140)
第六章 拉丁方、巢式的设计与分析	(155)
第一节 设计方法	(155)
第二节 单个拉丁方设计的分析	(159)
第三节 多个拉丁方设计的分析	(165)
第四节 次级样本重复相等的巢式设计分析	(173)
第五节 次级样本重复不等的巢式设计分析	(178)
第七章 裂区、再裂区、条区的设计与分析	(183)
第一节 复因素裂区的设计与分析	(183)
第二节 再裂区的设计与分析	(197)
第三节 复因素条区设计与分析	(212)
第八章 单因素格子式设计与分析	(223)
第一节 格子式设计方法	(223)
第二节 格子式设计的特点及应用	(228)
第三节 平衡格子式设计的分析	(228)
第四节 不平衡格子式设计的分析	(236)
第九章 一元回归与相关分析	(257)
第一节 回归分析的意义	(257)
第二节 回归直线与回归系数	(258)
第三节 一元回归的假设测验及参数区间估计	(266)

第四节	两条回归直线相比较的显著性测验	(272)
第五节	相关的概念及相关系数定义	(278)
第六节	相关系数的显著性测验及区间估计	(283)
第十章	品种区域试验设计与分析	(290)
第一节	设计方法	(290)
第二节	区域试验当年资料的综合分析	(291)
第三节	多年资料的综合分析	(303)
第四节	品种稳产性分析	(316)
第十一章	协方差分析	(319)
第一节	协方差分析的意义与功用	(319)
第二节	寻找共同回归关系的协方差分析	(321)
第三节	用基数矫正试验结果的协方差分析	(327)
第四节	单因素随机完全区组设计的协方差分析	(331)
第五节	协方差分析的数学模型和基本假定	(343)
第十二章	多元回归与逐步回归分析	(345)
第一节	偏回归系数与多元回归方程	(345)
第二节	多元回归的显著性测验	(362)
第三节	不显著自变数的剔除及标准偏回归系数	(367)
第四节	复相关系数	(373)
第五节	偏相关分析	(376)
第六节	逐步回归分析的意义和基本方法	(384)
第七节	逐步回归分析的步骤	(385)
第十三章	回归正交设计与分析	(404)
第一节	正交试验的设计方法	(404)
第二节	不设重复的正交试验分析	(412)
第三节	设重复而不考察交互作用的分析	(416)

第四节	一次回归正交设计与分析	(421)
第五节	二次回归正交设计与分析	(431)
第六节	二次通用旋转设计与分析	(446)
第十四章	非线性回归分析	(457)
第一节	非线性回归分析的意义和类型	(457)
第二节	多项式曲线的配合	(460)
第三节	由相关资料配合多项式	(469)
第四节	正交多项式的配合	(476)
第五节	化曲线为直线的回归问题	(490)
第六节	相关指数	(502)
第十五章	通径分析	(505)
第一节	通径分析的意义	(505)
第二节	通径分析的基本概念	(506)
第三节	通径系数的计算与统计检验	(515)
第四节	性状相关的通径分析方法	(519)
第五节	遗传通径分析	(525)
第十六章	卡平方(X^2)测验	(534)
第一节	卡平方(X^2)的概念和分布	(534)
第二节	适合性测验	(538)
第三节	独立性测验	(554)
第四节	方差的同质性测验	(558)
主要参考文献		(563)
附表		(564)

第一章 农业试验设计的基本原理与方法

第一节 农业试验的特点、任务和要求

一、农业试验的特点

农业试验是在自然条件下进行的,试验的对象是生长于土壤中的农作物。因此,受到各种因素的干扰和制约,例如风、雨、温度、湿度、光照、土壤肥力、排灌状况、人为的耕作施肥、中耕除草等。所以,我们看不到某一品种都是划一的 800 公斤或 900 公斤,总是这片地的产量与那片地的产量不同,这丘田的产量与那丘田的产量不一样。即使在同一丘田中,植株的生长亦不一样,有的植株高些,有的植株矮些;有的植株结籽多,有的植株结籽少。甚至是同一丛水稻的植株间,或同一小麦的分蘖穗间,也存在着差异。这就使得甲地的高产品种到了乙地就不一定高产,而乙地的增产措施到了甲地也不能完全适用。可见,农业生产具有很强的地域性和差异性,使农业试验具有自己的特点。

1. 试验周期长

农作物完成一个生活世代的时间很长,短则三五个月,长则十余个月,因此一年内不能进行多次试验,有的一年只能进行一次试验。

2. 干扰因素多

试验过程中所受到的非试验处理的干扰很多。有自然条件的影响,有农作物本身存在着变异性,有人为操作管理的影响,还有很多偶然因素的干扰,例如病虫为害、不良气候等。

3. 差异性大

农作物试验不仅有地域性的差异,还有作物本身的差异,年度间气候条件的差异等。因此,农作物试验要注意以下几点:

① 要有比较,只有通过不同数量和不同质量的比较,才能分清好坏、优劣。所以农业试验是在比较下进行的。

② 比较是以唯一差异法为基础的,即除处理因子外,其他条件要保持一致,以免干扰试验结果。

③ 群体要大,不能以一株或几株作物作研究,要分别情况种植一定面积,或调查一定群体。

二、农业试验的任务

农业试验是农业科学研究的重要手段之一。它的任务在于揭示农作物的内在规律性,从而指导农业生产,推动农业生产的发展。

前面说过,农作物生长于大自然的环境中,受到各种因素的干扰,因此,农业试验所获得的每一结果,都是与当时、当地的环境条件相联系的。既反映了试验处理的真实效应,也掺杂着人为的或环境因素的影响。所以,农业试验要完成其任务,必须采取正确的试验设计,并要对试验结果加以数理统计分析,才能排除误差的干扰,揭示出本质。

三、农业试验的基本要求

由于农业试验有周期长、干扰因素多和差异性大等特点,因此,对试验提出以下的要求;

1. 要努力提高试验的准确性

农业试验的结果是用来指导生产的。如果把不正确的试验结果推广到生产中去,将会使生产遭受损失,危害极大。为此必须讲究试验技术,认真地观察记载和操作管理,力求降低试验误差,提高试验的准确性。

2. 试验条件应做到相对一致性

在每个试验中,除处理因子外,其他技术措施和自然条件要严格控制,在相对一致的条件下进行,所谓相对一致,就是既要强调在一致的条件下进行试验,又不能绝对化。例如在进行前后作品种搭配试验时,就不能等到前作全部收获后再同时种后作,而应当先收先种,迟收迟种。又如进行稻种春品种与晚稻品种的对比试验时,其播期和秧龄也应该有所不同,否则反而失去真实性。

3. 试验要具有代表性和先进性

代表性是指试验条件应能代表将来要推广地区的自然条件 and 生产水平,使试验结果真实地反映将要推广地区的实际。否则,就难于在生产上推广应用。但是,试验研究除结合当前实际外,还要考虑农业生产的发展和农业现代化的要求,因此也必须进行一些更高一级的先进技术措施试验,以推动生产的发展。

4. 试验结果必须具有重演性

重演性是指在相似的条件下重复同一试验,能获得类似的结果。重演性反映了试验结果的规律性,只有试验结果有规律、能重演才有推广的价值。由于农业试验受外界环境的影响很大,为了使试验结果在生产上推广能收到应有的效果,就必须十分注意试验条件和试验技术,使试验有较高的准确性和代表性。有些重大项目必须经过多年或多点试验,验证具有重演性后,才能大面积推广。

第二节 试验误差的来源及其控制方法

一、试验误差的概念

试验误差是指非试验因素引起的效应,即试验结果偏离真值的程

度。在所有的农业试验中,试验结果都有反映试验处理真实效应的一面,但也受到很多非试验处理因素的干扰和影响,使试验结果掺杂着非处理效应的一面。所以说,试验结果都包含着试验误差,而且试验误差至始至终存在于试验的全过程,它影响着试验的准确性和精确度。试验误差小则表示试验的精确度高,反之,则试验的精确度低。显然。只有试验的误差小,精确度高,才能对试验处理间的差异作出可靠又正确的评定。因此,对试验误差除在结果的统计分析中加以估计外,更重要的是在试验的设计和 execution 过程中,进行正确设计和实施,努力降低试验误差。

二、试验误差的来源

试验误差是不能消灭的,但我们可以努力减少它。为了从各方面减少试验误差,就必须了解试验误差的来源。农业试验误差大致来源于以下几方面:

(1) 供试材料的个体间差异 我们知道,在农业试验中,相同品种或相同处理的植株间,其生长发育总存在着差异,有的生长速度快,有的生长速度慢;有的长得高,有的长得矮;有的强壮,有的瘦弱;有的穗大粒多,有的穗小粒少,总是不一致的。

(2) 操作管理的不一致性 如耕地、整地、栽种、灌溉、施肥和中耕除草等,在人工操作下,总很难做到一致。经常是一块试验田中,有的地方耕得深些,有的地方耕得浅些;有的小区肥施得多些,有的小区肥施得少些;有的部位低,灌水深度就大,有的部位高,灌水深度就浅。即使是机器操作,在一块试验田中,也很难做到一致。

(3) 供试材料的质量不同 如种子有大小,所育的苗有强弱、大小等质量的不同。

(4) 观察和测定的不准确 在观察记载中,常由于认真程度不同,所掌握的标准不同,记载的时间不同或所使用的仪器有偏差等引起的误差。

(5) 病虫害为害的不一致性 在试验中,各植株间或小区间,病害

发生的程度,或被虫为害的程度,都不可能是均匀一致的,总是有的重,有的轻,这就造成试验结果的差异。

(6) 土壤肥力的不匀 试验地土壤肥力的不均匀是普遍存在的,是影响试验误差最大,又最难控制的因素。土壤肥力的不匀,主要是由于种植的作物不同或操作、栽培等管理的不一致造成的,特别是施肥的不匀是造成土壤肥力不匀的一个很重要来源。

以上是试验误差来源的几个方面,但这些方面并不是并重的,有主次和可克服、不可克服之分。因此有的把试验误差分为两类:

(1) 系统误差 亦称片面误差。是由于供试材料的质量不同、测量观察的不准确、操作管理的不一致所引起的。这一部分是容易克服的。一般来说,在试验中,只要做到设计正确、操作一致、观察记载认真,系统误差可以降到很小的。

(2) 偶然误差 主要是由试验地的土壤肥力难以达到完全一致所造成的。即使在试验过程中,做到精心管理、操作一致,也是难以消除的。此外,病虫害为害的不均匀性、各部分小气候条件的不完全一致等也是偶然误差的一个重要来源。在统计分析中,常把偶然误差称为狭义的试验误差或随机误差,作为衡量试验精确性的依据。

三、控制试验误差的途径

(一) 试验控制

主要是控制误差的来源,从设计、实施以及最后的收获考种等,尽量做到正确又一致。具体的有:合理地选择试验地,正确地进行处理设计,增设重复和合理地规划试验小区等。这些将在后面详细介绍。

(二) 统计控制

统计控制是试验控制的一种辅助手段,是利用回归来消除试验上很难控制或无法控制的自变数不相同的影响,如小区的种植密度,尽管种植和管理按一定的株数严格掌握,但由于生长过程中,受到很多

因素的影响,最后的株数很难按预定的密度要求;又如研究水稻的结实率,要求各处理在单位面积上有相同的颖花数,这就很难达到;在比较不同农药的防病效果上,也要求各处理的发病程度一样,这也是很难达到的。在这些情况下,如果那个没法很好控制的因素(如上述的每小区株数、单位面积的颖花数、各处理的发病程度等)与试验结果存在回归关系时,就得利用回归将试验结果矫正到相同水平(如相同小区株数、相同颖花数等)时的结果,再加以比较。这叫统计控制,它对于减少试验误差有很好的效果。

第三节 农业试验的设计原则

一、农业试验设计的基本原理

一个好的试验设计,不仅要能有效地降低试验误差,而且能够通过统计分析,正确地估计试验误差,从而得出较为准确又可靠的结论。由于土壤差异是构成试验误差的最主要因素,因此,在试验设计时,就应特别注意控制土壤差异。为了有效地降低土壤差异和合理估计试验误差,必须增设重复,并根据试验地的肥力、地形、前作等条件进行合理区划,实行地段的局部控制,使同一重复内的土壤条件尽可能一致。同时,在一个重复内,小区采用随机排列,使估算出的误差比较真实,以提高结果分析的准确性。因此设置重复、地区控制、随机排列被称为田间试验设计的三个基本原理。

1. 重复

重复是指每种试验处理在同一试验中所种植的小区数。如果每个试验处理在同一试验中仅有一个试验小区的,就称为一次重复。每处理在同一试验中具有两个试验小区的,称为两次重复,其余类推。

设置重复是提高试验准确性的有力措施。假如每个试验处理仅设一个小区,则受土壤肥力差异等偶然因素的影响就很大。增加了重复

次数后,可以使每一试验处理的若干小区分布在试验地的不同地段上,使各处理在较一致的条件下进行对比,以减少试验误差。同时,试验误差必须由同一处理的试验小区间的差异来估算,如果各处理仅设一个试验小区,显然是无法估计试验误差的。我们从统计学知道,平均数的标准误差($\sigma_{\bar{x}} = \sigma/\sqrt{n}$)是由重复数(n)和总体的变异度所决定的,增加了重复数,不仅可以估计出标准误,而且可以降低标准误,从而提高了试验的精确度。

2. 地区控制

地区控制就是按试验地土壤肥力等因素的变异情况,划分为与重复数相等的区组,每一区组内的变异情况趋于同质,这是降低试验误差的重要手段之一。

在田间试验中,由于增加了重复次数,势必增大了试验地的面积,因此也必然增大了土壤肥力的变异程度。为了控制土壤肥力变异程度的增大,我们将试验地按其肥力的变异情况,划分为具有较一致肥力的若干区组,每个区组安排一个重复。再把每个区组(重复)划分为与处理数目相等的小区,每个小区安排一个试验处理。由于每一重复内的各试验处理设置在较小的面积上,且各处理相邻在一起,因此,处理间受土壤肥力差异的影响少,且与增加重复数后所增大的土壤肥力差异无关。近代所有试验设计都是以地区控制原理为基础发展起来的。

3. 随机排列

随机排列是指同一重复内的各个试验处理安排于每一个小区内,不是依试验者的主观安排,而是采用随机的方法,即每一小区安排任何处理的机会相等。只有这样,才不会使试验误差的估计值偏高或偏低,达到无偏估计试验误差的目的。

随机排列的方法可利用本书所附的随机数字表或抽签的方法。

二、试验处理的设计

试验处理是指参与试验对比的具体项目,一个试验包括着若干个处理。如品种比较试验,品种是试验因素,而每一个品种就是一个试验处理;又如密植试验,密度是试验因素,每一种密度就是这个因素的一个水平,亦即一个试验处理。在复因素的试验中,各因素的任一水平所组成的组合形式称为一个处理组合。例如密植的复因素试验,行株距是一个试验因素,插秧本数也是一个试验因素,每一种株行距或每一种插秧本数都是该因素的一个水平,两因素各水平互相组成组合,如:20cm×20cm 插6本、20cm×20cm 插9本、20cm×20cm 插12本、20cm×15cm 插6本、20cm×15cm 插9本、20cm×15cm 插12本等。共有6个处理组合。即第一因素的水平数2乘第二因素的水平数3的积为处理组合数。

在每一个试验中,应设计多少处理和设计哪几种处理,都不能凭空设想,而必须深入地了解生产中或科学研究中存在的问题,查阅必要的资料 and 了解前人的研究成果,在此基础上进行试验处理的设计。这样可做到心中有数、有的放矢,又不会使试验过于繁琐复杂。

在设计试验处理时应注意以下问题:

1. 处理数必须适当,同一试验因素的不同水平间的标准要明显

处理数不宜过多和过于繁杂,否则会增添工作量,也难以从试验中得出明确的答案。同一因素不同水平间的标准要明显,才不容易被试验误差掩盖了处理效应,使处理间的真实效应表现不出来。例如小麦播种时,如果播得太浅、覆土太薄则易干旱而出苗不齐,如果播得太深、覆土太厚,也难正常齐苗,到底以哪一种播种深度为好呢?某科技组设计了一个小麦播种深度试验,其深度分为1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、4.5、5.0、5.5、6.0、6.5、7.0 cm等13个处理。这13个处理显然可以包括所需要研究的各种深度。但在实际操作时,一般不可能把种子播在非常一致的深度上,深浅相差1 cm左右是很普遍的事。以上设计的处理间深度仅相差0.5 cm,显然是不符合实际的。若按深度

相差 0.5cm 的标准来安排处理,不仅处理数目多,试验复杂,而且处理间的真实效应极容易为误差所掩盖。因此把处理间的深度差异加大至 2cm 较为妥当,即改为 1.0、3.0、5.0、7.0cm 四个处理。这样,界限明显,处理数又较少,既可简化试验,又能说明问题。

总之,试验处理数应根据需要和可能而定,一般以 10 个左右的处理数为宜,最多不要超过 20 个处理数。不过,对于不同种类的试验,其处理数的要求是有所不同的。如品种比较试验,其处理数可以相对多些;栽培及药剂防治等试验,其试验处理数应适当少些。

2. 应从生产实际出发

处理设计应从生产实际出发,根据试验目的进行设计,不要设置一些在生产实践中无意义或不能实施的处理。如上述的播种深度试验,若设置 8cm 以上的试验处理就没有意义了,因那样的深度在生产上已肯定为很难出苗而不采用。又如品种比较试验,也必须分别品种的主次,有选择地进行,不要在一个试验中安排过多的品种,以免分散精力和造成混杂。而且,品种数太多,就不得不把小区面积压小或把区组扩大,这样势必增加试验误差。所以要预先在初步摸底的基础上,把比较有希望的品种优先安排在正式试验中,对初次引进或没有什么把握的品种,只作一般种植观察就可以。但必须注意,在进行处理设计时,除了应从当前生产实际出发外,也不能忽视将来生产发展后可能达到的水平,不能忽视基础理论和探索增产新途径的试验研究,才能使科研工作走在生产的前面。

3. 试验因素不宜过多

试验因素过多,不仅会使试验方案过于繁杂,增加试验和统计分析的工作量,而且也会影响试验的准确性。为此,必须抓住主要矛盾,选择一两个关键性因素先作试验,待明确其效果后,再以此为基础继续进行其他因素的深入试验。例如为探讨某连作晚稻新品种在闽西北山区的高产栽培技术问题,我们知道,连晚的高产与播种期、插秧期、