

田间试验与统计方法

TIAN JIAN SHI YAN YU TONG JI FANG FA

孔繁玲 主编



中央广播电视大学出版社

田间试验与统计方法

孔繁玲 主编

中央广播电视大学出版社

前 言

《田间试验和统计方法》是为中央广播电视大学二年制农科种植类专业编写的专业基础课教材。全书包括田间试验和统计方法两大部分，共九章。

本书在保证学科的系统性和科学性的同时，强调了实用性，以体现其大专水平教材的特色。在讲解必要的基本原理的基础上，从传统的本科生教学内容中删去了数学模型、期望均方和较深的理论分布内容，也删去了田间试验中不常使用的拉丁方设计与分析。突出了田间试验方法和试验结果的分析方法（包括单变数、双变数、测量资料和计数资料的试验结果分析），增添了八种农作物（其中有三种蔬菜作物）的记载项目及标准。编写方法上力求由易到难、逐步深入、文字通俗、适合自学。尽力使初学者在收看电视讲授后复习有依据，模仿有蓝本，操作有标准。教材中有“*”标志的为选学内容。

本教材适合具有高中文化基础的农科大专学生和教师使用，也可作为广大农业科技人员的参考书。

本教材的绪论、第一、二、三、七、八、九章及附录由孔繁玲编写，第四章由孔繁玲和张爱华合写，第五、六章由张爱华编写，编写过程中作者从书后所列主要参考书目中吸收营养，甚至引用其中部分实例，在此向原作者深表谢意。

全书由卢宗海、刘来福教授，曾启明研究员，董振华、傅永芬副教授审定。

由于编写时间仓促，加之编者水平限制，缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正，以便日后修改。

作者 1990年11月

目 录

绪论	(1)
一、田间试验的任务与要求	(1)
(一)田间试验的任务	(1)
(二)田间试验的基本要求	(3)
二、统计方法的基本功能	(3)
第一章 田间试验设计	(6)
第一节 试验方案设计	(6)
一、因素、水平、处理与试验方案	(7)
二、试验方案的种类	(7)
三、怎样制订试验方案	(8)
第二节 试验误差	(10)
一、试验的准确度与精确度	(10)
二、试验误差	(10)
三、试验误差的来源及其控制	(11)
第三节 田间试验的环境设计	(13)
一、环境设计的基本原则	(13)
二、田间试验的小区技术	(14)
第四节 常用的田间试验设计	(18)
一、对比法设计	(18)
二、间比法设计	(19)
三、完全随机设计	(19)
四、随机完全区组设计	(20)
五、裂区设计	(22)
第二章 田间试验的实施和田间观察记载	(24)
第一节 田间试验的实施	(24)
一、实施田间试验的总原则	(24)
二、田间试验的布置	(24)
三、试验地的田间管理	(30)
第二节 田间观察记载	(32)
一、为什么要对试验进行观察记载	(32)
二、田间观察记载的基本内容	(32)

三、田间观察记载的抽样方法·····	(33)
第三节 作物性状抽样观察记载方法举例·····	(38)
一、密度调查·····	(38)
二、病害调查·····	(40)
三、虫害调查·····	(41)
四、作物品种抗病性调查·····	(42)
五、倒伏性调查·····	(43)
六、品种纯度调查·····	(43)
第四节 田间试验的收获与产量测定·····	(44)
一、田间试验的收获·····	(44)
二、产量的测定·····	(44)
* 三、缺株的弥补·····	(45)
四、抽样测产·····	(48)
第三章 次数分布、平均数和变异数·····	(52)
第一节 几个基本概念·····	(52)
一、数据·····	(52)
二、变数·····	(52)
三、总体与样本·····	(53)
四、参数与统计数·····	(53)
第二节 资料的整理·····	(53)
一、整理资料的基本方法·····	(53)
二、次数分布表·····	(55)
三、次数分布图·····	(58)
四、频率分布与累积频率分布·····	(60)
第三节 平均数·····	(61)
一、算术平均数·····	(61)
二、中位数·····	(63)
三、众数·····	(64)
四、几何平均数·····	(64)
第四节 变异数·····	(65)
一、极差 (R) ·····	(65)
二、标准差 (σ 或 S) ·····	(65)
三、变异系数 (CV) ·····	(69)
第五节 从次数分布表上计算平均数和标准差·····	(70)
一、加权法·····	(70)
二、等级差法·····	(70)

第四章 理论分布	(74)
第一节 事件与概率	(74)
一、事件.....	(74)
二、频率与概率.....	(76)
三、概率运算法则.....	(78)
第二节 二项分布	(79)
一、随机变数.....	(79)
二、0,1总体(二项总体)分布.....	(80)
三、二项分布.....	(81)
第三节 正态分布	(85)
一、正态分布.....	(85)
二、正态总体的抽样分布.....	(93)
第五章 统计推断	(100)
第一节 统计假设测验	(100)
一、统计假设测验的意义.....	(100)
二、统计假设测验的基本步骤.....	(101)
三、两尾测验与一尾测验.....	(103)
四、假设测验的两类错误.....	(105)
第二节 平均数和二项资料百分数的假设测验	(107)
一、 t 分布.....	(107)
二、单个样本平均数的假设测验.....	(109)
三、两个样本平均数相比较的假设测验.....	(110)
四、百分数的假设测验.....	(116)
第三节 参数估计	(120)
一、区间估计.....	(121)
二、区间估计与假设测验.....	(124)
第六章 方差分析	(126)
第一节 方差分析的基本原理	(126)
一、方差分析的意义.....	(126)
二、自由度和平方和的分解.....	(127)
三、 F 分布与 F 测验.....	(131)
四、多重比较.....	(133)
第二节 方差分析	(137)
一、单向分组试验数据的方差分析.....	(137)
二、两向分组试验数据的方差分析.....	(142)
三、系统分组试验数据的方差分析.....	(148)

第三节	方差分析的基本假定与数据转换	(154)
一、	方差分析的基本假定	(154)
二、	数据转换	(155)
第七章	田间试验结果的统计分析	(163)
第一节	田间试验结果的初步整理与分析	(163)
第二节	对比法试验结果的统计分析	(165)
一、	顺序排列对比法试验的统计分析	(165)
二、	随机排列对比法试验结果的统计分析	(167)
第三节	间比法试验结果的统计分析	(170)
一、	等级差距法	(170)
二、	与相邻对照平均比较法	(172)
三、	显著性测验法	(172)
第四节	随机完全区组试验结果的统计分析	(174)
一、	单因素随机完全区组试验结果的统计分析	(174)
二、	两因素随机完全区组试验结果的统计分析	(178)
三、	随机完全区组试验的缺区估计	(182)
第五节	裂区设计试验结果的统计分析	(184)
一、	裂区设计试验的分析方法	(184)
二、	裂区设计试验分析实例	(185)
三、	裂区试验的缺区估计	(190)
第八章	卡平方测验	(195)
第一节	卡平方的概念与计算	(195)
一、	卡平方(χ^2)的定义	(195)
二、	卡平方(χ^2)的分布和 χ^2 值表	(197)
三、	卡平方(χ^2)的假设测验	(197)
四、	卡平方的连续性矫正	(197)
第二节	适合性测验	(198)
一、	$k = 2$ 的次数资料	(198)
二、	$k \geq 3$ 的适合性检验	(200)
*三、	χ^2 的再分裂	(201)
四、	配合理论分布的次数资料	(202)
第三节	独立性测验	(203)
一、	2×2 表的独立性测验	(203)
二、	$2 \times c$ 表的独立性测验	(205)
三、	$r \times c$ 表的独立性测验	(206)
*第四节	方差的比较	(207)

一、一个样本均方与总体方差的比较	(207)
二、总体方差置信区间的估计	(208)
三、样本方差的同质性测验	(209)
第九章 直线回归与简单相关	(213)
第一节 变数间关系概述	(213)
一、变数间的关系	(213)
二、变数间关系的性质	(214)
三、变数间关系的密切程度	(215)
第二节 直线回归分析	(216)
一、回归模型的选择	(217)
二、直线回归方程的建立	(218)
三、直线回归的假设测验	(223)
四、直线回归的区间估计	(228)
第三节 简单相关分析	(232)
一、简单相关系数	(232)
二、简单相关系数的计算	(235)
三、相关系数的假设测验	(237)
四、决定系数	(241)
第四节 关系分析中应注意的问题	(242)
附表 1 10000个随机数字	(245)
附表 2 累积正态分布 $F_N(X)$ 值表	(249)
附表 3 正态离差 u 值表(两尾)	(251)
附表 4 学生氏 t 值表(两尾)	(252)
附表 5 5%(上)和1%(下)点 F 值(一尾)表	(253)
附表 6 χ^2 值表(一尾)	(259)
附表 7 <i>Duncan's</i> 新复极差测验5%和1% <i>SSR</i> 值表	(260)
附表 8 r 的5%和1%显著值	(262)
附表 9 Z 与 r 值转换表	(263)
附表 10 百分数反正弦 $\text{Sin}^{-1}\sqrt{x}$ 转换表	(264)
附录: 农作物田间试验记载项目及标准	(265)
水稻	(265)
大、小麦	(269)
玉米	(272)
棉花	(274)

甘薯.....	(275)
大白菜.....	(278)
瓜类作物.....	(279)
蕃茄.....	(281)
主要参考书目.....	(283)

绪 论

我国是一个农业大国，农业在我国国民经济的发展中占有极为重要的地位，农业生产的发展离不开农业科学。大量事实证明，除了生产关系的因素外，农业生产的大发展总是伴随着农业科学的新进展。例如，杂交玉米和杂交水稻的推广带来了粮食产量的大幅度增长；盐碱土改良技术的应用使得许多低产田变成了米粮川；地膜覆盖技术的推广使许多地区的粮食与蔬菜生产大为改观；种植制度的合理改革使许多地方出现了吨粮田。越来越多的人已强烈地认识到运用新技术对于农业生产的极端重要性。那么，先进的农业技术是怎样形成，又是怎样推广开来的呢？当然，每项农业技术的研究与推广都有其各自的特点，这涉及到农业生产的不同侧面和各自的学科。例如，杂交玉米与杂交水稻的培育及推广涉及到植物遗传与育种学理论及方法的进展；盐碱土改良涉及到土壤水盐运动的理论与实践的进展等。但是，每项新技术的形成与推广都有它们的共同点，那就是科学的试验设计与试验技术以及对于试验结果的合理分析与正确结论。例如：杂交种玉米和杂种水稻从选育到推广均需经过田间试验和对于试验结果的合理分析；盐碱土改良措施从设计到推广也是每一步均需通过试验和对于试验数据的科学分析。农业试验有多种形式，如田间试验、温室试验、大棚试验、盆栽试验和实验室试验等，但田间试验是农业试验的最主要形式。这是因为农业生产主要在田间进行，农业科研成果与新技术在大田条件下的实际应用效果，必须经过田间试验才能做出最后的结论。田间试验的基本原理和方法也适用于其它类型的农业试验。对农科种植类专业的大学生开设《田间试验和统计方法》这门课程的目的在于帮助同学学习有关田间试验和统计方法的基础知识，掌握正确的进行田间试验并对试验结果作合理而有效的统计处理的基本技能。

一、田间试验的任务与要求

(一) 田间试验的任务

1. 什么是田间试验 田间试验是在作物所生长的田地中进行的科学实验活动，是在人为控制条件下，以作物为指示研究农业生产中有关问题的科学实验活动。例如，在半干旱条件下研究陆稻品种的生产性能；以不同的栽培措施研究某棉花品种的增产潜力；以不同的化学杀雄剂研究不同品种的药物敏感性以及以不同的种植制度与投入研究吨粮田的综合技术等，各构成不同类型的田间试验。

2. 田间试验的任务

(1) 田间试验的任务首先在于解决农业生产中极需解决的问题。例如：某地区水稻白叶枯病十分流行，严重影响水稻产量。为了解决这个问题，就需要多方探索解决途径，必要时开展多方面的田间试验。诸如：① 搜集研究本地与外地现有的栽培防病措施，通过比较鉴定，择优提供生产利用；② 征集国内外现有的抗病品种，通过试验，择优供生产利用；③ 通

过试验，比较各种农药的防病治病效果，择优供生产使用；④进行品种药物栽培措施的综合试验，选择优良的配套措施供生产利用。需要引起注意的是，以上各项选择都必须通过田间试验。

田间试验通常在较小面积上进行，环境条件易于控制，因而有可能最大限度地排除各种非研究因素的干扰，把需要解决的问题充分地暴露出来（例如：作品种比较试验时，把灌水施肥、中耕管理等措施尽量控制到一致而使品种间的差异充分表现出来；在比较施肥量效应时，把品种、灌水乃至施肥期、施肥方式等控制到一致，而尽量突出施肥量的差异）；同时也可以向各个方面深入试探解决问题的最佳方案，而不致因某些措施的试探不成功而造成大的损失。农业生产地区性很强，各地生产又在不断发展中，因此，生产上会不断出现新情况和新问题，加之在改革开放的新形势下，地区间甚至国内外的技术交流与渗透又十分频繁，也会随时出现农业技术上的新问题。这些问题有长远性的，也有暂时性的，但绝大多数是与当前生产直接有关的，这类以解决当前农业生产问题为主要目的，直接为农业生产服务的试验在各地都是量大面广的，解决这类问题是农业科学工作者经常遇到的。

（2）田间试验也是解决农业科学研究中所提出问题的有效手段。这是因为田间试验本身并不完全依赖于大田生产，它可以通过控制或改变某些条件，提供生产中不能或不易自然发生的新的事实，以产生新的科学概念或科学假定。因此，往往需要设计相应的试验来检验这些观念或假设的正确性。例如：已成为动植物育种的重要基础的遗传上的分离定律、自由组合定律和连锁交换定律，就是通过控制条件下的生物杂交试验而得出的科学观念。从这种观念出发而进行的大量再试验又使这些定律得到证实。这反映了人类通过科学实验而认识世界的客观过程。事实上，人类的认识就是通过观察（实践）来发现问题，进而提出假设，然后根据假设来设计试验以验证假设。如果假设被接受，则说明假设正确，如果假设被否定，则说明假设不正确或部分不正确。为此再去观察，再去发现问题，再去提假设与验证。这就是从实践到认识再由认识回到实践的认识过程（关于假设测验的详细内容见第五章）。从某种意义上说，田间试验是人类打破传统农业的旧观念，深入认识作物生长规律，探索增产措施的重要手段。例如：传统农业认为某地秋季的平均温度低于 9°C ，玉米就停止灌浆，因而不能充分利用晚秋的有效积温。但从玉米的观察试验中偶然发现某个未能及时收获的晚熟种在晚秋灌浆良好，则设想有些品种可能在 9°C 以下仍可灌浆，于是，设计采用晚熟种玉米品种作试验，结果表明，许多晚熟种玉米果真可以利用低于 9°C 的有效积温，进一步的试验还发现玉米灌浆阶段能否利用低于 9°C 的日平均温度，主要决定于当时种子所处的生理阶段，早熟种和中熟种的生理阶段决定了它们不能充分利用晚秋有效积温，从而限制了产量。经试验最终找到了高产稳产的夏播晚熟玉米品种。

田间试验成果的绝大部分将直接服务于农业生产。田间试验与农业生产的关系可概括为如下两点：（a）田间试验是农业生产的先行与准备，所谓“先行”是指田间试验总是走在农业生产的前面，它体现了田间试验的探索性与先行性；所谓“准备”则体现了田间试验的目的性。（b）农业生产是田间试验的源泉与终极。所谓“源泉”是指农业生产为田间试验提供了研究的课题；所谓“终极”则体现了田间试验的目的在于解决生产

问题。

(二) 田间试验的基本要求

田间试验的环境条件最接近于农业生产的实际情形，但作物是有生命的有机体，极易受外界环境条件的影响，加之外界环境条件的不断变化，又增加了试验的复杂性。为了有效地做好试验，使试验结果能在提高农业生产和农业科学水平上发挥应有的作用，对田间试验的基本要求如下：

1. 试验目的要明确 生产中的问题有各种各样，试验应首先抓住当时当地急需解决的问题，并从发展的观点出发，适当照顾到长远的和不久的将来可能突出的问题。试验前要做到对试验结果及其在农业生产和科学实验中的作用有初步估计（详见第一章）。

2. 试验条件要有代表性 试验条件应能代表将来准备推广该试验结果的地区的自然条件（土壤、气候、地势、土质等）及农业生产条件（如种植制度、水利条件、施肥水平等）。这对于确定试验结果在一定范围内可能利用的程度具有重要意义。但是也要有发展的眼光，试验者要能预见到不久的将来农业生产条件可能发生的变化，如旱农地区要预计到兴修水利后对品种要求的变化等，所以代表性不是固定不变的（详见第二章）。

3. 试验结果要可靠 这包括试验的准确度和精确度（详见第一章、第二章），要求试验既准确又精确。为此，在试验的全过程中必须尽最大努力准确地执行各项试验技术，力求避免发生人为的错误和系统误差。特别要注意试验条件的一致性，即除了按试验目的把研究的因素有意识地划分为不同的处理外，其它条件及一切管理措施都应尽可能一致，以减少误差，提高试验结果的可靠性。高度的责任心与严格的科学态度是保证试验结果可靠性的必要条件。

4. 试验结果要能够重复 在相同条件下，重复进行同一试验，应能获得与原来相类似的结果。这对于推广试验成果至关重要。一个重复不出来的试验结果是毫无价值的。为此要求（1）试验地要有代表性，（2）试验实施要严格，（3）试验过程中应及时记载作物生长过程中环境条件的变化和作物生长状况即有详细的田间档案，以分析其关系，（4）试验应重复进行2~3年，甚至作多年多点试验，以克服年份、地点环境条件的不一致所带来的影响（详见第一章、第二章）。

二、统计方法的基本功能

统计方法是应用统计学原理和方法来搜集、整理、分析和解释来自试验或调查的数据，从而就所研究对象的数量特征作出结论的一种科学方法，属应用数学的范畴，是统计学的一个分枝。

为了深刻地认识农业试验中研究对象的表现和规律，通常需要对所研究的对象作系统的观察和测量，以获得所需的观测值。如测量植株的株高，称量单株或小区的产量，计数单叶病斑数，测定单位干重的蛋白质含量等。实际的观察值大多数表现为一定的数量。因而统计方法就成为做好农业试验的一种必不可少的工具。统计方法对于农业试验的基本功用大致可以归纳为如下四方面：

(一) 提供整理数据和描述事物特征的科学方法

由于试验数据通常具有变异性（例如在相同条件下收获同一玉米品种的100个果穗的穗

长各不相同；相同条件下收获同一蕃茄品种的果实，其单果维生素C的含量各不相同等），统计上常把表现有变异性的性状叫做变数或随机变数，又称指标。如株高、叶长、产量、千粒重、蛋白质含量等都是变数，而把变数下每个具体的测量值，如每株的株高、单穗位叶的叶长、小区（或单株）的产量、某品种的具体千粒重或蛋白质含量，称为变量或观测值。一个试验可能只研究一个变数，也可能要研究两个或两个以上的有关变数。由于每个变数包含有较多的变量，若将每个变量都不加整理地罗列出来，将是一堆杂乱无章的数据，不能说明任何问题。统计方法给我们提供了整理资料，化繁为简的科学程序，以及由众多变量归纳出几个确能描述其特征的数值称为特征数，如平均数、标准差等（详见第三章的计算方法和图示方法），使我们能从少数特征数或一些简单的图表中较好地认识数据中所蕴藏的信息。若只研究一个变数通过这些计算和图示，可获得该变数自身的特征与信息。若为两个或多个变数，则可获得关于多种现象（变数）间相互关系的信息，如性状间的回归与相关关系（详见第八章、第九章）。以上内容属于描述统计，是用来描述事物特征的。

（二）提供由样本推论总体的科学方法

总体是具有共同性质的个体所组成的集团，由一个变数的所有可能的数值构成。如某品种的所有个体构成该品种的总体，某处理的所有单元构成该处理的总体。统计上用来描述总体的特征数叫参数，参数是由总体中所有个体概括出来的特征数，如农大146小麦品种总体的平均株高和总体的标准差是该品种这两个性状的参数。参数是常量，一般情况下为未知。因为人们很难对总体内的每个个体进行测量。样本是由总体中抽取一部分个体所组成的集团。如某一小区农大146品种株高就是农大146品种株高的一个样本。样本和总体具有相对性。我们研究的对象多为样本，而目的却在于认识总体。例如：我们以小区试验对比两个品种，其目的并非仅仅了解这两个小区，我们的目的是通过对小区的度量认识整个品种。样本与总体间总存在差异，这种差异通常由误差造成。为了使样本能代表总体，从而可用概率论的方法处理样本结果，必须使总体中的每个成员有同等的机会被抽中，这样的样本叫随机样本。描述样本的特征数叫统计数。统计数是一个随机变量，它会随样本的不同而不同。

由于总体参数通常为未知，实践中几乎都是通过对样本的观察来研究总体，这就产生了如何由样本的结果来推断总体的问题，也就是如何由统计数来推断参数的问题。例如某试验表明，A品种在当地比B品种增产25千克，那么，如何推断A品种在推广后会比B品种增产多少呢？数理统计学的理论已经研究清楚了样本与总体数量关系的若干规律，因而提供了解决这个问题的科学方法，即由样本推断总体的方法（详见第五、第六、第八章）。

（三）提供了通过误差分析以鉴定处理效应的科学方法

所谓效应，就是试验因素（详见第一章）对性状所起的增进或减少的作用。例如：某西瓜品种的施肥量试验，每亩施氮肥15千克，亩产量为2500千克，每亩施氮肥20千克，亩产量为3000千克，则在施15千克氮肥的基础上种施5千克氮肥的效应为3000千克 - 2500千克 = 500千克。

田间试验通常是一种比较试验，其基本特点是，除去被研究的因素具有所要求的水平外，其余因素，作为试验条件而要求保持常量，这样能比较精确地测定处理的效应。例如，

研究新农药 A 是否优于旧农药 B ，则该试验除去 A 和 B 两个处理外，其余的因素，如土壤肥力，所用品种、播种密度、管理措施以及自然因素温、光、气、热等都应一致。只有这样才能从 A 与 B 的对比中得出处理的真实效应。但实际上，无论试验控制得多么严格，两个处理所处的条件都不可能完全相同。因而，观察到的处理效应总是混杂着这样或那样的不一致而产生的偶然差异，这种偶然差异叫做试验误差（第一章）因此一个观察效应究竟是由处理的不同造成，还是由误差所造成，尚有待统计检验，才能使我们的结论建立在科学的基础上。统计方法提供了作出这种鉴定的科学程序。即通过误差分析以鉴定处理效应的科学方法（详见第六、七章）。

（四）提供进行科学试验设计的一些重要原则

为了以较少的人力、物力、财力取得最多的试验信息，并精确地估计处理效应，试验必须有科学的设计，而科学的设计又是和统计方法密切联系的，这是由于：

1. 试验设计本身的科学性需要用统计方法来研究 例如：田间试验的处理设置、重复次数，试验小区的大小、形状、排列以及抽样方法等，都是以统计学为依据的（详见第一、二章）。

2. 对试验结果的误差分析，可为改进试验或抽样方法提供理论依据和实践指导 例如：通过试验的误差分析可了解试验地的土壤肥力状况（以变异系数表示，见第三章），为今后的试验设计提供依据。对现有试验结果的分析（第七章）可为试验设计方法的进一步改进提供依据。实践证明，试验设计上的差错往往会使大量的试验信息遭受损失。统计方法对于试验研究的全过程都是十分重要的。因此为了迅速提高田间试验以及整个农业科学试验的水平，应努力学习和掌握统计方法这一科学武器。

最后，需要指出的是，适合于试验资料的统计方法也适合于调查资料。

第一章 田间试验设计

内容提要：田间试验包括试验的设计与实施两大部分。试验设计又分为试验方案设计和试验环境设计两部分；试验的实施则包括试验的布置与管理和田间抽样与观察记载两个方面。本章重点介绍试验设计的两个部分。有关试验布置与数据取得的技术与知识则留待下章介绍。本章要求学生掌握如下内容：

1. 因素、水平、处理、试验单元与试验方案；
2. 试验方案的种类及制订试验方案的要点；
3. 试验误差的概念，试验误差的主要来源及其控制途径；
4. 田间试验设计的基本原则；
5. 对比法、间比法、随机完全区组及裂区设计的基本方法及各自的使用条件。

第一节 试验方案设计

下面是几个实际的试验方案：

例1.1 在黄淮海平原小麦夏玉米两茬平播亩产吨粮的理论与技术体系研究中，曾专门设计试验研究晚播小麦的追肥技术。目的是使晚播小麦不晚抽穗且高产不倒伏。其追肥期试验的试验方案包括如下四个试验处理：春一叶、春三叶、春五叶和孕穗期共四个施肥期处理，追肥量为每亩25千克（公斤）尿素。从各处理产量及产量因素的变化比较中分析晚播小麦高产的施肥规律。

例1.2 为了提高黄淮海平原一年两熟（小麦、玉米）中低产地区单位面积粮食产量，专家们曾提出了综合增产技术。其中夏玉米改早熟品种为中晚熟品种是其中重要措施之一。但中晚熟品种成熟较晚，灌浆期延长，而九月下旬至十月上旬气温逐渐降低。中晚熟品种能否正常灌浆成熟？后期逐渐降低的温度对夏玉米产量究竟有何影响？为此设计了夏玉米品种播期试验，试验方案为三个中晚熟品种：掖单4号、掖单6号和农大60；分三期播种：6月18日、6月28日和7月8日，共九个处理。各处理于开花期选同一天吐丝，长势相近的植株挂牌标记，从吐丝后第五天开始，每五天取果穗观察记载穗部及籽粒性状，直至完熟。

例1.3 为了全面综合地发展我国农村经济、农业部门曾在各地试验“生态农业”的开发，从作物、水产、畜禽等多方面生态平衡的角度综合发展农业生产。“生态农业”的效果究竟怎样？以“生态农业”的综合措施与传统的农业生产系统进行对比就形成了该特定综合试验的试验方案。其最终目的是寻找适合各地区的农业生产体系，促进农业的持续平衡发展。

由以上三个试验方案可以看出试验方案的三个基本要素，即因素、水平和试验处理。

一、因素、水平、处理与试验方案

试验因素是试验方案中一类措施的总称。如施肥期试验中的施肥期，品种试验中的品种都是试验因素。上面例1.1有一个试验因素（施肥期），例1.2有两个试验因素（品种和播期），例1.3有多个试验因素（作物、畜禽、水产等）。因此一个试验可以包括一个至多个试验因素。

试验因素所划分的若干具体状态或等级称为水平。例1.1中的施肥期因素有四个水平：春一叶施肥、春三叶施肥、春五叶施肥和灌浆期施肥。例1.2的两个试验因素各有三个水平，品种的水平为掖单4号，掖单6号和农大60三个品种；播期的三个水平为6月18日，6月28日和7月8日三个播种期。

试验处理就是试验小区上所接受的试验措施。上面例1.1中的试验处理是一个施肥期。例1.2中的试验处理是一个品种和播期的组合，如农大60 7月8日播种和掖单4号6月18日播种就是两个不同的处理组合。由此可以看出，当试验只有一个因素时，该因素的一个水平就是一个处理，试验有两个或两个以上因素时，对于均衡的试验方案（详见本章“二”）来说，其处理为各试验因素水平间相互搭配的组合。例1.3中的每一套综合措施构成一个处理组合，属于不均衡的试验组合（详见本章“二”）。应当指出，接受试验处理的试验小区是一种试验单元，所谓试验单元就是接受一个试验处理的供试材料单位。试验单元有多种形式，它可以是一片叶子，一个植株，一个钵钵，也可以是包括一定数量植株的一小片土地。田间试验中常把包括一定数量植株的一小片土地称为小区。若以纯种的玉米自交系为试验材料研究四种不同的药剂防治穗腐病的效果，则每一株均匀接种后的该自交系植株就是一个试验单元。

试验方案就是根据试验目的与要求所拟订的要进行比较的一组试验处理的总称。上面例1.1的试验方案由四个施肥期处理构成，例1.2的试验方案由九个品种播期处理组合构成，例1.3的试验方案由两个综合的处理组合构成。试验方案是整个试验工作的核心，试验的全部目的要通过试验方案来体现，因此对于试验方案的制订必须十分重视。

二、试验方案的种类

根据试验中包含因素的多少，试验方案可分为三类：

1. 单因素试验 只研究一个因素的若干水平的试验称之为单因素试验。试验中所有处理都是这一因素的不同数量水平（如不同播期、不同施肥量、不同施药量等）或质量水平（如不同品种、不同种农药等）。上面例1.1就是一个单因素试验方案。单因素试验设计简单，容易实施，所得结果易于分析。但只能研究一个因素不同水平上性状测量值的变化规律，找出其最佳水平或估计其总体变异度，却不能了解因素间的相互关系，信息量较少，因而其结论也往往是初步的。

2. 多因素试验 在一个试验中同时研究两个或两个以上因素的试验统称为多因素试验。一般把包括两个试验因素的试验称之为两因素试验（前面例1.2为两因素试验），把包括三个试验因素的试验称为三因素试验。前面例1.2中如果再加上研究三种密度的效果，则成为品种、播期、密度三因素试验。多因素试验的优点是不仅可明确各因素单独的作用，而且可以探明各因素相互搭配的作用即交互作用，能够较全面地说明所研究的问题。其试验效率要高于单因素试验，因为多因素试验中各个因素的作用实际上都在其它因素的不同水平上重复了

几遍。仍以前面例1.2为例,该试验不仅探明了在该地区小麦收获后使用三个玉米品种的效果,而且探明了三个玉米播期的效果,由于每个品种都有三个播期,它相当于重复了三次,每个品种,播期也相当于重复了三次,因此每一品种和播期都重复了三次,其均值的精度高于单因素试验。更重要的是,该试验探明了品种与播期相互搭配的效果:掖单6号和农大60为中晚熟品种,可以较好地利用当地9月下旬至10月上旬的水气热条件继续灌浆达到较理想的产量,而掖单4号比较早熟,到九月下旬时种子含水量已较低,不能继续灌浆,因而产量潜力不大。这种因素间相互搭配的效果是无法通过单因素试验来获取的。多因素试验的限制因素是,当试验因素增多时,处理数目迅速增加,会使试验难以控制,反而增大试验误差,降低试验的精确度和准确度。农业田间试验,一般要求处理数目不超过20个,试验因素一般以2~3个为宜。而且首先强调单因素试验,在对各因素单独作用有所了解的基础上再作多因素试验。如果必须进行较多因素的试验,可采用一些特殊的试验设计,如混杂设计、部分析因设计、格子设计和旋转设计等(这方面的内容已超出本书范围)。

多因素试验方案的设计可分为均衡试验方案和非均衡试验方案两类。所谓均衡是指试验因素各水平相互搭配的机会均等,次数相同。均衡试验方案又分为全面实施方案和部分实施方案。全面实施的均衡试验方案包括各因素各水平相互搭配组成的所有处理组合,处理组合数=各因素水平数的乘积。上面例1.2就是一个两因素三水平全面实施的均衡试验方案。若以6个品种、3个播期、2种施肥期作全面实施的试验,则处理组合数=6×3×2=36个。部分实施的均衡试验方案其处理数比全面实施方案的少,但不失其均衡性,常通过正交表来选择试验处理。其缺点是常有效应混杂。非均衡试验方案中各因素不同水平的搭配不具均衡性。往往是根据实际需要构成几个综合的处理组合,称之为如下的综合试验方案。

3. 综合试验 是多因素试验的一种。它的一个处理组合往往是一系列经过实践初步证明的各因素不同水平的优良配套。选择一种或几种可能适合当地条件的综合性生产技术措施作为试验处理与当地常规处理作比较,就是一种综合性试验。这种试验对于推广生产经验,全面发展农村经济是有效的。本章开始的例1.3即为一种综合性试验。综合性试验不能研究个别因素的效应,也不能对因素间的交互作用作出回答。若要求回答上述问题,则应同时配合单因素试验或多因素试验。

三、怎样制订试验方案

1. 试验方案要充分体现试验的目的与任务,力求简单明确,重点突出 只有当试验任务比较复杂时才设计比较复杂的试验方案,否则应比较简单。例如引种试验,目的在于把外地引进品种与当地原有品种作比较,选出更好的适合当地种植的新品种,只要列出这些引进品种与当地品种就是试验方案。如果要解决麦收后夏玉米的品种、播期及密度问题,则需要设计一个三因素的复杂方案。前面夏玉米播期与品种试验的试验方案是:

掖单4号 6月18日播,掖单4号 6月28日播,掖单4号 7月8日播。

农大60 6月8日播,农大60 6月28日播,农大60 7月8日播。

掖单6号 6月18日播,掖单6号 6月28日播,掖单6号 7月8日播。一般不设计过分复杂的试验方案。