



林业试验设计



北京林业大学  
一九八八年元月



# 目 录

前 言	1
第一章 概论	2
第一节 林业试验设计的任务	2
第二节 林业试验设计的原则	3
第三节 林业试验设计的误差控制	4
第二章 数理统计的基本知识	8
第一节 基本概念	8
第二节 统计假设检验	12
第三节 方差分析	30
第四节 回归与相关分析	53
第三章 对比法试验设计	64
第一节 田间试验设计	64
第二节 统计分析	67
第三节 对比法设计的评价	76
第四章 完全随机化设计	77
第一节 设计方法	77
第二节 统计方法	78
第三节 应用范围及实例	80
第五章 完全随机区组设计	84
第一节 田间试验设计	84
第二节 统计分析	86
第三节 完全随机区组设计的评价	102
第六章 平衡不完全区组设计	104



第一节	田间试验设计及评价.....	104
第二节	统计分析.....	106
第七章	拉丁方设计.....	108
第一节	设计方法.....	108
第二节	统计方法.....	109
第三节	应用范围及实例.....	112
第八章	裂区设计.....	116
第一节	设计方法.....	116
第二节	统计方法.....	119
第三节	应用范围及实例.....	125
第九章	正交设计.....	131
第一节	正交设计的原理和步骤.....	131
第二节	统计分析方法.....	136
第三节	正交设计的应用.....	141
第十章	格子设计.....	146
第一节	格子设计的种类和方法.....	146
第二节	格子设计的统计分析.....	152
第三节	格子设计的应用.....	167



## 前 言

随着现代农林业科学技术的发展，试验设计已经迅速发展成为一门新兴学科。由于林业生产周期长、地域广，易受多种环境因素的影响，一次设计不当就会贻误多年，因此研究和掌握科学的林业试验设计方法就显得更为迫切和重要。

本教材是在两次北方阔叶树良种选育训练班讲稿的基础上改写而成的。结合国内外的新发展和科学研究的需要，教材内容在深度和广度方面都有所加强。对每一种设计<sup>计</sup>方案都力求从方法、统计、数学模型及应用实例几个角度进行比较充分的讨论，并新增了格子设计等较为复杂的内容。为了适应这些新的内容，对数理统计知识也作了必要的补充。

考虑到油印教材的特点，本教材没有附加有关的统计用表，请读者参考有关书籍。

本教材共分十章。其中第一、四、七、八、九、十章由续九如执笔；第二、三、五、六章由黄智慧执笔。由于编写时间仓促和我们的水平所限，谬误疏漏之处一定不少，欢迎使用本教材的同志们批评指正。

续九如 黄智慧

1988年1月



## 第一章 概 论

### 第一节 林业试验设计的任务

自然科学研究有两条途径，一是纯调查；一是进行试验。纯调查是指在自然状态下考查自发现象；而试验是指在人工控制条件下考查某些事物的内在联系和规律。

试验方案是否合理完善应以它能否用最少的劳动和时间获得有用而可靠的科学资料作为衡量准则。设计一个试验时应充分考虑到如何减少或排除各种使试验结果产生偏离实际情况的干扰因素，得出最优结果和可靠的结论。为此应按照数理统计原理来进行设计。它包括合理安排试验处理和合理制订样本含量，使所得数据能进行统计学处理并得出期望答案。

林业试验设计与其它试验设计一样，都是为了更有效地研究和解决实际问题。因此，在试验之前，针对所要研究的问题，制定周密的试验设计方案是试验成败的关键。由于树木生长周期长，大多数试验是在田间进行的，受到土壤、气候等多种自然因子的影响，因此制定科学而合理的林业试验设计方案就显得更为重要。如果不能在试验之前针对所要解决的问题及影响这些问题的主要因素作出周密的试验设计，往往不能得到正确的结论，造成时间、人力、财力的巨大浪费。

除了严格按照数理统计的理论进行设计外，一个好的试验设计还应该具有典型性、精确性和重演性。典型性是指试验场地、试验材料具有代表性，使得试验成果能够在生产上推广；精确性是指试验材料的来源清楚、试验数据可靠和试验结果可信；重演性是指试验结果能够经得起重复，别人在相同的试验条件下也能得到相同的结果，只有这样才具有推广价值。



## 第二节 林业试验设计的原则

与一切其它田间试验一样，林业试验设计必须遵守以下三条原则。

### 一、设置重复

为了减少试验<sup>误</sup>差和正确地估计试验<sup>误</sup>差，所有林业试验设计都必须设置重复。试验的重复次数愈多，试验结果的准确性也愈高。具体重复次数应根据试验地土壤差异情况、对试验准确性的要求、试验材料的变异性、处理数目等因素综合考虑来决定。目前苗圃或造林试验一般采用4次或4次以上的重复。

### 二、随机化

为了使试验中各个处理都有相同的机会分配给任何一个试验单元，从而消除空间上或时间上的系统误差并正确地估计试验误差，试验中的所有处理都必须随机设置，所有样本都必须随机选取。

随机化是为了满足观测值和误差独立分布的前提。它是用数理统计学方法分析试验数据的基本要求，如果处理的分配没有执行随机化原则，那么对试验数据进行统计学方法分析是没有意义的。

例如，试验地的土壤肥力呈方向性变化，即从一头肥沃逐渐变到另一头贫瘠。如果有三个品种A、B和C作比较，而总是从试验田的一头按A、B、C顺序分配到各小区上。那么即使这三个品种的产量不分上下，试验结果也会得到A最优、B次之，C最次。这样就使系统误差混淆了品种间的差异，从而导致错误结论。避免系统误差的办法就是按随机化排列品种。

### 三、局部控制

为了在进行试验时使各种处理所处条件相同，以便相互比较，各处理应尽量安排在一个小范围内。例如在田间试验时先将试验地划分为若干个区组，而在区组内的各个小区分别施以不同的处理，这样就



可以让各处理在区组内一致的条件下进行比较，使土壤差异与处理间差异相互混淆的可能性减小，提高试验的精确性。

区组划分方向应与肥力变化方向垂直，区组内各小区的划分方向应与肥力变化方向平行，这样才能使各小区间肥力均匀。在山地进行试验时，区组划分方向应平行于等高线，小区划分方向则应垂直于等高线。一般来说，区组设计成长方形较好。从减少土壤差异的目的出发，区组面积不宜太大；而减少区组面积只能从减少小区数目或缩小小区面积入手，所以小区面积也不宜过大。在同样大面积的土地上进行试验，采用小面积小区可以增加重复次数，提高精确性。最小的小区即为单株小区，亦常为林业试验所采用。

### 第三节 林业试验设计的误差控制

广义的试验误差包括错误和偶然误差两类。所谓错误，是指量错了土地面积、算错了产量、记错了数字、混杂了品种等等。这些问题往往降低试验的精确性，甚至使整个试验报废。在试验工作中，应该十分细心谨慎，反复核对，避免错误的发生。

狭义的试验误差即指偶然误差，它是指除去处理本身以外，因条件不完全一致而造成的对真实效应的影响，例如土壤肥力不一致、栽培管理操作不一致、观察与测定的偶然影响以及抽样误差等等。如果这些偶然效应大到与真实效应不相上下的程度，就很难通过试验得到正确的结论。因此，应尽可能采取各种措施减少误差，提高试验的精确性。这些措施，主要可以归纳为试验地选择和控制在土壤差异两个方面的技术。

#### 一、试验地的选择

为了得到正确的试验结果并用于将来推广，试验地应该选在气候、



土壤条件有代表性的地段，亦即，试验地应具有试验地区的典型气候、典型地势、典型土壤肥力和理化性状、典型的地下水位等。

试验地应该设在同一坡向上，坡度也应基本一致，而不应该把试验地选在沟谷或山顶上。在同一个重复内，应保证土壤质地均匀、肥力一致。

为了避免自然条件的影响和人畜损坏，试验地不宜太靠近村庄、道路和建筑物。

### 三、控制土壤差异的方法

控制土壤差异主要依靠小区技术。关于小区的排列，将在各种试验设计方法中讨论。这里主要讨论小区的面积与形状、重复次数、对照和保护行的设置等。

#### 1. 小区面积与形状

小区面积大小同试验误差的大小有直接关系。小区面积越大，小区内土壤越均匀，试验误差越小。但是，当小区面积增加到一定范围之后，试验误差降低并不明显。反而因小区面积太大，使得重复的面积加大，增加了重复内的试验误差。同时由于试验占地太多，不仅加大了工作量，也不容易控制经营管理措施一致，也增加了试验误差。因此，小区面积过大和过小都不合适。

确定小区面积，应根据试验种类、栽培年限、重复次数、土壤差异程度等综合考虑。一般来说，树木试验以每小区栽植1~10株的效率最高。有人提出选种圃的小区面积为5~15平方米，鉴定圃小区10~25平方米为宜。这些数字可以作为参考。同一重复各小区面积必须相等。

小区的形状一般采用长方形。特别是试验地肥力呈方向性变化时，更宜采用长方形小区。小区的长边与肥力变化方向平行，使小区间的



肥力比较均匀，以降低试验误差。在坡地做试验时，小区的长边应与坡向平行，使小区尽可能跨过不同坡度的土壤。一般来说，小区的长边与宽边的比例以 3 : 1—10 : 1 为宜。

## 2. 小区的重复数

设置重复不仅是为了利用平均数客观地比较各个处理的效果，而且，更重要的是为了减小和估计试验误差。因此，现代田间试验的基本原理可以称之为重复原理，通过重复来提高试验的精确度。

试验所需要的重复次数，最重要的决定因素是土壤变异程度和试验所要求的精度。其次，还要综合考虑处理的数目、试验地面积和小区面积及小区的排列方式等。一般来说，随机区组设计要求 4 次以上的重复。土壤差异较大或要求精度高的试验，可以安排 8 ~ 10 次重复。从统计学原理上说，至少要有 2 次以上的重复才可以估算出试验误差。当然，重复次数也不是越多越好，因为重复太多会占用大量土地和劳动力，增加不必要的工作量。

合理的重复次数应以在一定精确度要求下能以较大可靠性辨别两平均数之差为依据，并经过统计计算来确定。如果予期的精确度指定为处理平均数的标准误，并且事先了解了试验的变异系数，则可用下表查出应有的重复次数。（引自马育华著《试验统计》P 22，表中数字为  $\frac{\text{标准误}}{\text{平均数}}$  %）。（见下页）

例如，如果某试验具有 10% 的变异系数，要求处理平均数的标准误不大于 5%，则重复 4 次即可满足要求。

## 3. 设置对照区

对照区又称标准区，在对照区内安排对照处理，作为与处理相比较的标准。设置对照的目的，一方面是使参加试验的各个处理以对照为标准进行比较，以鉴定各处理的优劣；另一方面是利用对照矫正和



表 1. 1 不同重复次数和变异系数下的标准误

变异 重复 次数	系数%	8	10	12	14
2		5.7	7.1	8.5	9.9
3		4.6	5.8	6.9	8.1
4		4.0	5.0	6.0	7.0
5		3.6	4.5	5.4	6.3
6		3.3	4.1	4.9	5.7
7		3.0	3.8	4.5	5.3
8		2.8	3.5	4.2	5.0

估计试验地的土壤差异。

选择适宜的对照是试验设计的关键之一。如果对照设置不当或者不设对照，则试验结果的应用价值往往不大。例如进行引种试验，必须有当地的优良树种作对照才能评价引种的效果；进行不同施肥量的试验，也必须有不施肥的小区为对照才能鉴别施肥方案的好坏。

#### 4. 设置保护行

靠近小区外侧的植株，通风透光条件好，长势旺，有明显的边际效应。为了减少边际效应所引起的试验误差，同时也为了防止人畜破坏践踏，应在试验地周围设置保护行。重复之间一般不设保护行，但如果各个重复排成一长条形，为区别起见，也可设2~3行保护行。没有特殊需要，小区之间不设保护行。

对保护行中的树木，应采取与试验林相同的品种和管理措施，必要时可以从中选取标本和解析木。



## 第二章 数理统计的基本知识

数理统计是数学的一个分支，它主要讨论如何应用数学原理和方法，根据所研究对象全部数字资料中的一部分资料去推断全部对象的数量特征和规律性。

数理统计学与社会经济统计学应严格区分。数理统计学是以概率论和大数法则为理论的基础学科，是数学的一个分支，属于自然科学范畴。研究的对象是自然现象的数量特征和规律性。社会经济统计学是以政治经济学和历史唯物主义为理论基础的学科，属于社会科学的范畴，研究的对象为社会经济现象的数量特征和它的规律性。

数量统计方法主要讨论数量统计的方法在生产和科研方面的应用，不讲或少讲数学理论的证明。

### 第一节 基本概念

#### 一、总体与样本

##### (一) 总体

按照统计研究的目的而研究的同类事物或现象的全体就称为总体。例如，我们研究某树种在其分布区的群体变异规律，则整个分布区内该树种的林分或林木的总和就是总体。又如我们要研究某个林木种子园内花粉的传播规律，则这个种子园内的所有林木就是构成我们要研究的总体。总体分有限总体和无限总体。总体单元数是有限的称为有限总体，总体单元数是无限的称为无限总体。所谓总体单元数，是指为了对总体进行观察或研究，而将总体的大量事物或现象划分为某个部分，作为观察或研究的基本学位。

##### (二) 样本：



由全部总体单元中，按照预先规定的比率和一定的方法从总体中抽出一部分单元，所抽出的这些单元称为样本。样本是用来估计总体的，即以样本所获得的量的特性来代表总体量的特性。一个样本如能代表总体，即须注意这两方面：其一，这个从总体抽出的样本，一定是用随机方法取得的，这样得来的样本叫做随机样本。所谓随机是指在这个总体内的各个单元都有同等机会被抽取的意思；其二，如果所抽出在样本的个体越多，即样本越大，那么样本所得量的特性接近总体特性的程度也越大，即这个样本越能代表总体。一般样本数 $\geq 50$ 的样本称为大样本， $\leq 30$ 的样本称为小样本。

### 三 抽样方法

抽取样本时，总体各单元被抽中概率相等的称为等概抽样，总体各单元被抽中的概率不相等的称为非等概抽样。抽样分式分重复抽样与不重复抽样。重复抽样或叫放回抽样，是从总体中抽出一个单元后，放回去再抽第二单元，如此下去直到抽够所需的样本；不重复抽样或叫不放回抽样，抽出第一个单元后不放回去，再抽第二单元，如此抽够样本单元为止。在实际工作中都是采用等概不重复抽样方式。一般习知的随机抽样方法是扔钱币，拈阄等，现主要介绍下列四种：

#### (一) 简单随机抽样

(1) 抽签法：抽签法是把总体各单元按自然数顺序编一个不同的号码，然后再制一套签号与总体编的号相同，把签混合均匀，抽出规定的样本单元数 $n$ 个签号，然后根据签号到总体中找出和签号相同的单元，组成样本。这种组织样本的方法，适于总体单元数不大时使用。

(2) 随机数字表法：是利用随机数字表组织样本的方法，是把总体单元编上一个号码。编号码的方法有两种，一是直接编上号码，二是无形的编号码（即总体各单元上不一定编上号码，但知道每个总体



单元是在什么位置)。根据总体单元数  $N$  的位数。设  $N = 2350$ ，要抽  $n = 50$  个样本，则从随机表中任取 4 列所构成的位数中，凡号码小于  $N$  的号都记下来，有重复号码取消不要，直到记够所需取样个数为止，再以号码的顺序到总体中找到所需要的单元，组成样本。这种方法适于总体单元数多时应用。

(3) 利用计算机语言中的随机函数：随机函数是计算机软件中已设计好的一个函数，如 BASIC 语言中 RND 即是。RND 可使计算机（或计算器）给出一个  $[0, 1]$  区间内的随机数，对  $[a, b]$  区间，可由公式  $a + \text{RND} * (b - a)$  得到。因此若总体单元数为  $N$ ，则我们就不用做签号，可利应计算机或计算器中的 RND 函数，由  $N * \text{RND}$  取整数，在所得总体中找到相应所需要的单元，直到取够样本。

(二) 系统抽样或叫机械间隔抽样：把总体分为  $N$  个单元，根据样本单元数  $n$ ，确定在总体中每离若干单元抽一个，组成样本的方法。例如  $N = 1000$ ， $n = 50$  每隔 20 个抽一个单元，在 1—20 个之间抽签方法决定第一个号码为 15 号，以后每隔 20 个号抽一个号，如 15、35、54、75……996 号共计 50 个号码，再从总体中找到 50 个号码，组成样本。这种方法优点是比较简单容易执行，缺点：对总体估计易产生偏差，不论单元数多少都可采用。

(三) 经验数据法：在科研工作中，研究对象常为满足一定的试验条件的全体试验数据所组成的总体。这样总体为无限总体，对无限总体，不能采用上述三种方法。在这种情况下，可把满足试验条件所进行的每次试验，作为一个样本单元，所进行的几次试验所取得的数据作为样本，这种组织样本的方法称为经验数据法。

(四) 分层抽样：就是将总体分成几个区域或几个部分称区层，这些区层可以面积相等或不相等，分区层的唯一标准是要求每个区层内



对所研究的试验材料或性状，尽量取得均匀同质。选取的取样单位总数  $N$ ，则应按所分区层面积大小，有比例的从不同区层中抽取。而在每一区层内取样单位的位置则是完全随机，这种取样方法就称为分层抽样。例如，我们要进行某树种全国种源试验，可将其分布区内分成几个区域如以区为单位，然后以省为单位，根据每省该树种的实际分布的多少，分别由各省中随机抽取若干个不同样本，组成全国种源试验的样本。这种取样能保证样本无偏性，以及取样单位的均匀分布，尤其是总体内单元数的分布不均匀时，这种方法组成的样本能代表这总体。但进行统计时较复杂。

### 三 特征数

总体特征数是说明总体数量特征或规律性的数字，特征数也叫参数。凡是通过对样本值经计算可以求得的量都叫统计量，如样本的算术平均数，标准差，极差，变异系数等都是统计量。往往总体特征数都是未知或很难获得，因而通常是用这些统计量来研究总体的特征数。下面就主要介绍样本中的几个常用的统计量。

(一) 算术平均数：平均数是用以测定变数分布的集中趋势，它的任务一方面可作两样本分布的代表，另一方面便于各样本间相互比较。它等于样本的几个观察值总和被单元数  $n$  除所得的商，如

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \text{ 它用于对总体平均数估计之用。}$$

(2) 方差与标准差 ( $S^2, S$ )：方差即为样本各观察值与平均数之差的平方和被样本单元数除，所得的商为方差， $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$

方差的平方根为标准差，如  $S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \bar{x}^2}$ 。



但在实际工作中标准差是样本各观察值与平均数之差的平方总和，被样本单元数  $n - 1$  除，所得商的平方根，只取正值。即

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

标准差的功用可用来确定样本平均数有多大的精确性和代表性，也可作为样本观察值间的分散程度的衡量。

(三) 变异系数 (C. V)：标准差是具有原来变数单位的，而且是就其原来变数本身的变异大小来测定的。但是，如果有两个或两个以上的变数，要比较这些不同变数间的变异程度，由于单位不同，而无法比较。所以在比较这些不同变数的变异程度时需要一个变异系数。即样本标准差被样本平均数除所得的商， $C. V. = \frac{S}{\bar{X}}$  我们应该明了变异系数是由标准差与平均数构成的比数，因此它即受  $S$  的影响也受  $\bar{X}$  的影响。因此，在采用变异系数以表示试验结果或进行比较其变异程度时，必须同时列举  $\bar{X}$  和  $S$ 。

## 第二节 统计假设检验

在林业生产实践中，一些调查对象的某些数字特征已经确定，然后检验是否正确。要用统计假设检验的方法；另外，在生产中有时要鉴定两个样本所代表的两个总体的特征数是否存在显著差异，同样要通过统计假设检验的方法。

统计假设检验在林业方面的应用非常广泛，可以解决许多问题。如建设单位，接受木材时，规定小头直径必须在 20 cm 以上才能接受，一年生刺槐苗平均高度达 70 cm 以上才允许出圃；一般造林后 3~5 年，生长稳定，每亩保存株数不低于合理造林株数 70%，尚未郁闭的亦可称为人工林；播种造林发芽率低于 30% 就算失败；刺槐种子纯度达 95%，才认为是一级种子；关于这些问题的解决，都需要应用统



## 统计假设检验方法。

### 一、统计假设检验的基本原理

#### (一) 统计假设检验的概念和理论依据

假设总体在某方面的特征数已定，然后在要检验的总体中抽取样本，计算其特征数，用样本的特征数和总体特征数进行比较，比较结果有三种情况：

(1) 样本特征数和总体特征数相差较大，超过规定的概率保证指标范围，认为对总体所做的假设不正确。我们可以推翻假设。

(2) 样本特征数和总体特征数相差较小，在概率保证指标范围内，认为对总体所作的假设是正确的，我们可以接受所做的假设。

(3) 样本特征和总体特征数相比较，相差不太大；也不太小，既不能推翻所做假设，又不能肯定接受所做假设，需要再做进一步假设检验。

这种用样本在已知分布的一定概率上的已知界限作为标准，检验样本特征数与总体特征数有无区别的方法叫统计假设检验。统计假设检验常用的统计量有  $u$  统计量， $t$  统计量， $\chi^2$  统计量和  $F$  统计量等。

假设检验的理论依据是根据小概率原理，即概率很小（如 0.05 或 0.01）的事件，在一定试验中通常是不会出现的，若出现了就认为假设不正确，而将假设推翻。一般我们否定一个假设时，称这个平均数或差数是显著的，所以统计假设检验也称显著性检验。凡用于检验假设的概率为 5% 或 1%，称其为显著水准，一般以  $\alpha$  代表之。

#### (二) 统计假设检验的基本步骤

(1) 根据给定问题指出零假设（或叫原假设） $H_0$  和备择假设（或叫对立假设） $H_1$ ；

(2) 寻找检验统计量，并在  $H_0$  为真条件下，推导统计量的分布；



(3) 给定显著性水准  $\alpha$ ，确定检验的拒绝域（或叫否定域，临界域） $W$ ；

(4) 作判断：由样本值计算统计量的值，若统计量的值落入拒绝域  $W$ ，则拒绝  $H_0$ ，否则， $H_0$  不被拒绝（或接受  $H_0$ ）。

### （三）假设检验的两类错误和功效：

在统计假设检验中，拒绝零假设  $H_0$  要冒一定的风险，有可能将正确的假设误认为是错误的，在统计中称这种“以真为假”的错误为第一类错误。犯第一类错误的概率就是显著水准  $\alpha$ 。不拒绝  $H_0$ ，同样可能犯错误，但其性质与第一类错误不同，这时是可能将错误的假设认为是正确的，在统计中称这种“以假为真”的错误为第二类错误，常用  $\beta$  表示其所犯错的概率。

一般地，当样本容量  $n$  固定时， $\alpha$  增加， $\beta$  减少，或  $\alpha$  减少， $\beta$  则增加。这里要强调的是，在原假设  $H_0$  给定后，具体做假设检验时，要么发生第一类错误，要么发生第二类错误，决不可能第一类和第二类错误在同一次假设检验中同时存在，更不是两者相互为对立事件。

在相同样本容量（ $n$ ）和同样显著水准条件下，原假设与真假设相差愈大，则犯第二类型错误的概率  $\beta$  愈小，反之则愈大。为了降低犯这两类错误的概率，必须采用一个较低标准的显著水平，如  $\alpha = 0.05$ ，同时适当增加样本容量（ $n$ ）或者通过适当减小总体方差（ $\sigma^2$ ）；或同时考虑几个方面，如果显著水平  $\alpha$  保持不变，则改进试验技术和在设计中增加样本容量，可以有效地降低第二类型错误的概率。因此拙劣的试验设计（如所用观察值数目太少）和粗放的试验技术两个方面是造成试验工作无法获得正确的科学结论的主要原因，因为这样容易于肯定或接受任何一个假设，不论它是错误的还是正确的。

几个常用的假设检验统计量