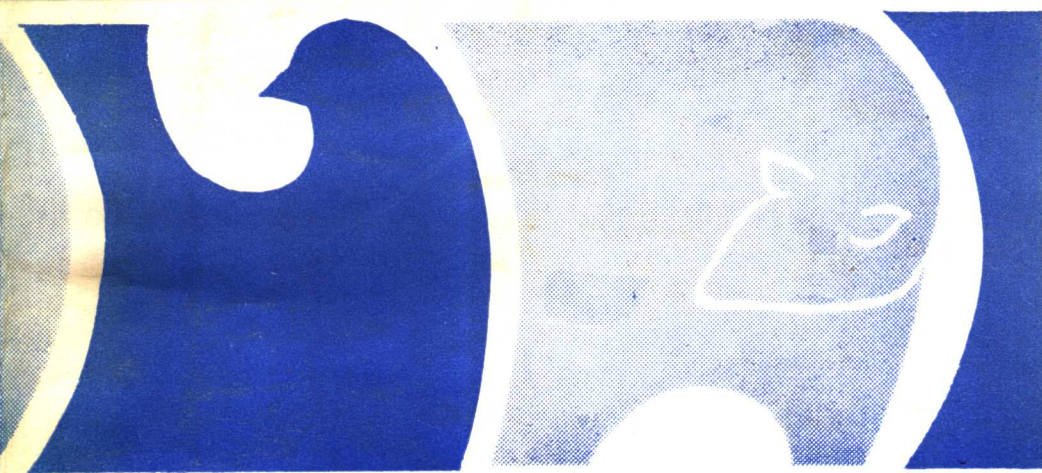


畜牧试验设计

〔日〕吉田 実著
关彦华 王 平译



KU MU SHI YAH SHE JI

农业出版社

畜牧试验设计

〔日〕吉田 实 著

关彦华 王 平 译

农业出版社

畜産を中心とする
実験計画法
農林水産省畜産試験場・技官農学博士
吉田 実 著
東京株式会社養賢堂
1980年第8版

畜牧試驗設計

(日)吉田 実 著
关彦华 王 平 译

农业出版社出版(北京朝内大街130号)
新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

850×1168毫米 32 开本 9 印张 221千字
1984年8月第1版 1984年8月 北京第1次印刷
印数 1—4,480册

统一书号 16144·2836 定价 1.70 元

译 序

试验设计是数理统计学的一个分支, 是进行科学研究的重要工具。每个从事科学试验的人都应当具有这方面的知识, 才能正确地设计试验, 并对试验结果作出科学的结论。近年来统计方法在畜牧生产、科学研究中应用日益广泛。但是, 有关统计方法与试验设计的著作虽多, 而论述畜牧试验设计的专著却很少。日本吉田实博士编著的《畜産を中心とする実験計画法》是一本较全面地论述畜牧试验设计的著作, 我们节译其部分章节, 供国内畜牧、兽医及其他有关学科中从事科研、教学、生产管理人员作为参考, 以适应农业现代化日益发展的需要。

吉田实博士长期致力于畜牧试验工作, 积累了丰富的资料, 在畜牧试验设计方面有较深的造诣。原著在编写上既照顾到统计理论的系统性, 又紧密联系畜牧试验的特点, 对较为费解的数理统计理论作了深入浅出的解释。并通过大量实例, 在具体应用上进行了详细的说明。对容易忽视和容易产生错误之处提出了独到的见解。这本书具有独特风格, 内容丰富, 适用范围广泛, 因此受到广大读者的欢迎, 1975—1980年在日本连续出版了三版。

原书共四篇二十二章。第一篇为基本的试验设计, 第二篇为复杂的试验设计, 第三篇为生物定量法, 第四篇为有关试验设计的各种问题。本书是在不影响其连贯性的基础上, 从第一、二、四篇中选译了其中的十一章而成的。前七章为基本原理和常用试验设计方法, 即试验设计的基本原理、单因子试验设计、析因试验设计、不完全的单因子试验设计、裂区设计、系统分

组设计和正交试验设计；后四章为有关试验设计的各种问题，包括群饲时的分析方法、试畜的头数如何确定等。书中某些部分虽涉及高等数学方面的知识，但没有学过高等数学的读者，只要有初步的生物统计知识，通过书中的大量示例，仍然可以看懂基本内容，结合具体情况作出合理的试验设计及分析。

由于译者水平有限，时间仓促，未能广泛征求意见，对章节的选择可能有一定的局限性，译文定有不少缺点错误，殷切期望读者批评指正。

译者于北京农学院

1983.6.23.

目 录

第一章 试验设计的基本原理	1
1.1 研究的进程	1
1.2 总体和样本	3
1.2.1 试验的目的	3
1.2.2 总体	6
1.2.3 抽样	7
1.3 统计推断方法	9
1.3.1 差与误差的比	9
1.3.2 统计推断与真实情况	10
1.4 试验设计三原则	12
1.4.1 设置重复	12
1.4.2 随机化	13
1.4.3 局部控制	16
第二章 单因子试验设计	21
2.1 完全随机设计(一元配置法)	22
2.1.1 一元配置法的实例	22
2.1.2 方差分析的计算方法	27
2.1.3 平方和的加法定理	30
2.1.4 线性模型与期望均方	33
2.1.5 平均值间的比较(多重比较)	38
2.1.6 一元配置法注意事项	39
2.2 随机区组设计	40
2.2.1 随机区组设计实例	40
2.2.2 方差分析的思考方法	46
2.2.3 缺值的处理	49
2.2.4 随机区组设计的注意事项	51

2.3 拉丁方设计	53
2.3.1 拉丁方设计的实例	53
2.3.2 拉丁方的特点	57
2.3.3 方差分析的思考方法	59
2.3.4 缺值的处理	60
2.3.5 拉丁方设计的应用	62
2.4 交叉设计(反转试验法)	70
2.4.1 交叉设计的实例	70
2.4.2 差“d”	72
2.4.3 交叉设计成立的条件	73
2.4.4 多种处理的交叉设计	74
第三章 析因试验设计	78
3.1 二元配置法	79
3.1.1 二元配置法实例	78
3.1.2 交互作用	82
3.1.3 方差分析的思考方法	97
3.1.4 平均数的比较	95
3.1.5 缺值的处理	96
3.2 三元配置法	97
3.2.1 三元配置法实例	97
3.2.2 方差分析的思考方法	105
3.2.3 求期望均方的方法	108
3.3 四元以上的多元配置法	113
第四章 不完全的单因子试验设计	117
4.1 不完全区组	117
4.2 不完全随机区组设计	118
4.2.1 平衡型不完全区组设计(B.I.B设计)	118
4.2.2 平衡型不完全区组设计的条件	119
4.2.3 平衡型不完全区组设计的解析	120
4.2.4 对称平衡型不完全区组设计(S.B.I.B设计)	123
4.2.5 调整的处理效果Q的意义	125
4.2.6 B.I.B设计一览表	126
4.3 不完全拉丁方设计	131

4.3.1 不完全拉丁方实例	131
4.3.2 不完全拉丁方与拉丁方的关系	134
第五章 裂区设计	135
5.1 裂区设计实例	136
5.2 方差分析的思考方法	143
5.2.1 测定值的线性模型	143
5.2.2 一级误差和二级误差	145
5.2.3 采用裂区设计的必要性	146
5.3 裂区设计的特点及其应用	147
第六章 系统分组设计	151
6.1 样本容量相等的实例	151
6.2 系统分组设计方法	154
6.2.1 线性模型和计算步骤	154
6.2.2 误差的估计	156
6.2.3 最适当重复数	157
6.3 样本容量不等的实例	158
6.3.1 解析步骤	159
6.3.2 期望均方系数的计算	162
6.3.3 方差组分的计算	164
6.3.4 测定例数的最适分配	164
6.3.5 试验区数的确定	165
6.3.6 试验设计的特点	166
第七章 正交试验设计	167
7.1 $L_8(2^7)$ 正交表	168
7.1.1 $L_8(2^7)$ 正交表的结构	168
7.1.2 正交表的性质	171
7.1.3 使用 L_8 正交表的实例(叶斯(YATES)算法)	172
7.1.4 因素的安排	176
7.1.5 与其他设计方法的结合	178
7.2 $L_{16}(2^{15})$ 正交表	180
7.2.1 $L_{16}(2^{15})$ 正交表的结构及性质	180
7.2.2 用 L_{16} 正交表安排试验的实例	182
7.2.3 因素效应的混杂	185

7.2.4 因素的安排	189
7.3 $L_{3,2}(2^{3^1})$ 及 $L_{6,4}(2^{6^3})$ 正交表	193
第八章 群饲时的分析方法	196
8.1 群内的相互作用	197
8.1.1 群内相互作用的实例	197
8.1.2 方差的比较	198
8.1.3 群内相互作用与组间差的关系	199
8.2 每群固有的变异	200
8.2.1 每群固有变异的实例	200
8.2.2 每个水平只设一个试验组群饲时的问题	201
8.2.3 方差组分的研究	202
8.2.4 细分试验组的优缺点	203
8.2.5 成群测定的数据的处理	204
8.3 可以忽略群内相互作用和各群变异的情况	205
8.3.1 质量遗传的数据	205
8.3.2 雏鸡试验的例子	205
第九章 试畜的头(或群)数	206
9.1 根据误差自由度的估计	206
9.1.1 估计的根据	206
9.1.2 所需试验组数的计算	207
9.2 根据差和误差的估计	209
9.2.1 估计必要头数的思考方法	209
9.2.2 最小显著差的估计	210
9.2.3 估计群饲时的最小显著差	210
9.2.4 估计必要头数	213
9.3 误差的估计	213
9.3.1 体重的变异系数	213
9.3.2 消化率的个体差	216
9.3.3 鸡的各种测定指标的标准差	217
第十章 各种实际问题	218
10.1 误差的级次	218
10.1.1 级次不同的误差	218
10.1.2 育肥试验的例子	222

10.1.3	研究环境条件的例子	223
10.1.4	分期测定的数据的处理方法	225
10.2	如何得到较多的信息	228
10.2.1	由同一资料引出较多信息的实例	228
10.2.2	由同一资料导出不同结论的例子	231
10.3	注意噪声	232
10.4	符号检验	237
10.5	奶牛试验中的若干问题	240
10.5.1	能否按二元配置法分析	241
10.5.2	能否作多元回归分析	243
10.5.3	偏回归系数的研究	243
第十一章	有缺值和重复数不等的资料的处理	245
11.1	缺值的处理	245
11.1.1	缺值的估计	246
11.1.2	含有估计值的方差分析	248
11.1.3	只有一个缺值的情况	250
11.2	有重复的试验中缺值较少的情况	250
11.2.1	重复数取齐的方法——简便法一	250
11.2.2	取平均数的方法——简便法二	251
11.2.3	重复数成比例时的方差分析	252
11.3	$R \times 2$ 型试验的情况	255
11.4	常数估计法	258
11.4.1	参数的估计方法	258
11.4.2	在常数估计法的基础上作方差分析	260
附表 1	正态分布表	262
附表 2	t值表(两尾)	264
附表3-a	5 % F值表(一尾)	266
附表3-b	1 % F值表(一尾)	270
附表4-a	5 % q值表(两尾)	274
附表4-b	1 % q值表(两尾)	275

第一章 试验设计的基本原理

以统计方法为基础的试验设计法(design of experiment),是数理统计学的一个分支,是进行科学研究的重要工具。其任务不仅是在试验结束后整理和分析所得的资料,而且要在研究工作进行之前,就应用统计原理制定合理的试验方案,作好周密的安排。

试验设计方法比较容易掌握,一般可以根据具体情况套用固定的程序。其具体应用方法,将通过实际例子进行说明。

本章将介绍试验研究的进程及其与试验设计的关系、试验设计的基本原理等。

1.1 研究的进程

在介绍试验设计的基本原理之前,先要说明研究工作的进程。不要认为科学研究只是局限在高等院校或研究机关里的高不可攀的工作,畜牧工作者为了提高生产和利润,不断探索新的方法,修正试行中的错误等等,都是在做研究工作。这种研究工作每个人都可以做,而其高明与否的区别,就在于是否能够为了达到研究目的而设计出合理的试验方案。

研究的进程,大致可分为以下六个阶段。

(1)制定研究目的:科学研究目的,是科研机构作为任务而定下来的方针,也有作为研究室的设置目的而事先确定了的,并不完全由研究人员去制定。与此相对应,一个科研课题的研究目的,则主要由研究人员决定。设计一个试验,关键在

于课题的研究目的，这是设计试验之前首先要确定的。

科研课题的研究目的，与建立专业假设有密切关系。例如某试验的目的是要对新饲料 A_1 和原饲料 A_2 进行比较，所以，确定这个科研课题，就意味着提出 A_1 优于 A_2 这一专业假设，从而进一步研究确定这个假设的正确与否。

(2)收集和整理资料：确定了研究目的之后，就要着手收集与此有关的研究结果，以及试验规模、试验动物数、因子的水平、所需劳动力、经费等，凡与本项科研有关的材料，都是很重要的资料。要根据这些资料来设计试验。

(3)起草试验设计：先考虑研究哪些因素，如何配置，怎样处理误差等，然后拟定实施计划。这是设计工作的中心环节。

(4)设计的实施：这一部分要强调按照设计正确地实施，主要是依靠体力劳动。在可能范围内，应当在机械化、自动化的同时，借助研究辅助人员的帮助。(1)、(2)、(3)及后面的(5)、(6)阶段是脑力劳动阶段；(4)阶段只不过是构成研究活动的一个部分，而不要把它看作是整个研究工作。

(5)整理资料和分析试验结果：试验如果按试验设计实施，资料就按照一定程序整理。然后把整理的结果象方差分析表那样列成表格。

怎样判断试验结果，推导出什么样的结论，是研究过程中最关键的地方，它与(2)、(3)阶段都最需要发挥研究人员的能力。

如果第(3)阶段试验设计拟定得当，就能对结果做出可靠的统计推断，从同一资料中就能得到多方面的信息。

(6)发表研究成果：有些人做了第(4)阶段工作以后，资料未经充分整理，几乎原封不动地就拿到学会或研究会上发表，工作也就到此结束。这些人满足于这种不断地活动，殊不知发表未经整理的资料，就等于说明自己没有解析资料的能力。

应当指出，只有确认前五个阶段的工作已经结束，才应在学术杂志上发表研究结果。如果不做这种努力，就如同没有研究一样。

研究进程如图1.1.1从(1)到(6)的过程，在(6)所得到的新的知识基础上，提出新的研究课题，再返回到从(1)开始的顺序。这样科学才能向前发展。

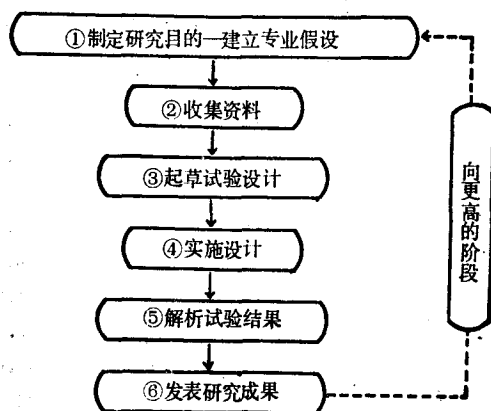


图1.1.1 研究进程模式图

1.2 总体和样本

1.2.1 试验的目的

我们假设某种新饲料 A_1 比原饲料 A_2 的营养价值高，为了验证这个假设是否正确并得到他人承认，先用仔猪作一个饲养试验。

〔例1.2.1〕把条件相同的30头仔猪分为两组，一组14头，喂饲料 A_1 ，一组16头，喂饲料 A_2 。饲喂10周的增重结果，列于表1.2.1。

此类试验涉及仔猪随机配置、个体单饲、除饲料以外保持

表1.2.1 喂饲料A₁和A₂的仔猪10周增重(公斤)

	饲料A ₁	饲料A ₂
	34.5	20.2
	35.1	24.8
	33.8	20.6
	40.3	26.9
	42.5	22.3
	24.6	16.5
	16.8	20.4
	27.5	5.5
	33.5	28.2
	31.6	11.9
	34.7	23.4
	41.0	20.9
	27.6	24.9
	22.4	25.6
		14.6
		13.5
头数	14	16
平均	31.85	21.26

其他试验条件一致等许多复杂问题,将在以后的章节加以说明。

从表1.2.1的数据可以看出,给予饲料A₁的仔猪群(简称A₁组)10周增重分布在最大值42.5公斤与最小值16.8公斤之间。

给予饲料A₂的仔猪群(简称A₂组)的增重,最大值是28.2公斤,最小值是11.9公斤。看起来给予饲料A₂的仔猪增重似乎较小,但数据分布部分重合,这种判断法是不确切的。现在把每群数据的总和除以头数,得到“算术平均数”,或简称“平

均数”，两群的成绩就可以分别用一个数值表示。如表1.2.1所示，平均数 A_1 组为31.85公斤， A_2 组为21.26公斤。两个平均数之差为10.59公斤，由此看出还是饲料 A_1 较好。

养猪户关心的是，如果用饲料 A_1 喂他们自己的猪将会产生怎样的效果。也就是说，如果用新饲料 A_1 喂猪，是否比喂原饲料 A_2 效果普遍都好。当然把全国的猪都试验一下是行不通的，所以，只有把研究所的猪作为代表进行饲养试验，由此得出结论，再把这个结论恰当地推广到全国，这就是上述试验的目的。

为了正确地进行这种推广，不是对喂给试验饲料的猪全部测定增重，而是分别从喂给饲料 A_1 和 A_2 的仔猪群中抽选出代表，测定各代表仔猪的增重，通过比较研究，正确地估计两群仔猪的增重效果及其差异。为了从代表仔猪的状态能够正确地估计仔猪群的状态，必须从代表仔猪的抽样方法开始，正确地拟定全部试验设计，并按照它去实施，这个问题将在后面详细说明。

被研究的对象的全体称为“总体”，从总体中抽出的代表，叫“样本”。

总体和样本资料都是由许多具体数值组成的，如果不加处理就很难说明问题，为此要把这些数值加以归纳。如例1.2.1用两群仔猪的平均数作比较，即可得知 A_1 的增重比 A_2 大。其中31.85公斤是 A_1 的14头样本的平均数，用 $\bar{x}_1$ 表示， A_1 的总体平均数用 μ_1 表示；21.26公斤是 A_2 的16头样本的平均数，用 $\bar{x}_2$ 表示， A_2 的总体平均数用 μ_2 表示。

样本的平均数可以通过实测值计算出来，而总体平均数却是抽象的东西，一般是无法具体测定的。总体中含有无数的仔猪，若将其逐个称重，然后求其平均数，自然是办不到的。我们把与样本平均数相对应的总体平均数，称为“总体均数”，以便区别。总体均数虽然一般无法具体测定，但可以用样本均数作为总体均数的估计值。如果从总体中再抽取其他仔猪作样

本，进行同样试验，所得的样本均数可能与表1.2.1的均数不相同，但它也同样是总体均数的估计值。如果把两个样本均数再取其平均数，仍然是总体均数的估计值。

当无法用两个总体均数比较饲料 A_1 和 A_2 的好坏的情况下，可按以下方式进行比较。

从给予饲料 A_1 的总体中取出样本，求其平均数 $\bar{x}_1$ ，从给予饲料 A_2 的总体中取出样本，求其平均数 $\bar{x}_2$ 。通过比较 $\bar{x}_1$ 和 $\bar{x}_2$ 来估计总体均数 μ_1 和 μ_2 的差异。

把以上方式用图1.2.1表示，由图中可以看出，这是由抽象的总体部分和实际测定计算的样本部分所组成的。

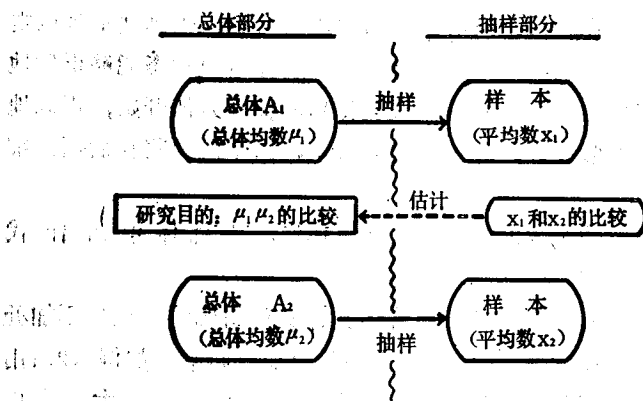


图1.2.1 试验内容模式图

1.2.2 总体

从仔猪群中选出样本的大的群体，称为总体，例如给予饲料 A_1 的仔猪群，给予饲料 A_2 的仔猪群，都是总体。但是，是否所有喂给饲料 A_1 和饲料 A_2 的仔猪，就都包含在这两个总体里呢？是应当认真考虑的。例1.2.1没有明确说明，而实际上是有规定条件的，如开始试验时仔猪的品种、性别、周龄、体重、健康状态、以及饲喂方式、试验周数等，事先都有严格的规定，而在这些规定条件之外的仔猪，即使其它条件相同，也不包含

在这个总体之内。总体代表必须由同样条件的仔猪组成。因而仔猪中若有下痢者,就要从样本中剔除。如果样本中含有病猪,这个样本就不能代表健康仔猪的总体,而是包含某个比例的病仔猪的总体,其性质和健康仔猪的总体是不同的。对构成总体的各个性质,事先应给予明确的定义,对于样本的选择以及从样本去估计总体的特性,都是重要的。

构成总体的个数叫做“总体容量”,用 N 表示。构成样本的例数,叫“样本容量”,用 n 表示。例1.2.1中,样本容量为14,用 $n=14$ 表示。

实际做试验时,试验结果是从容量为 N 的总体中,抽出容量为 n 的样本得到的。如果进行人口普查时,对全国人口逐一调查,这时样本容量 n 就和总体容量 N 一致了,这种情况叫做“全数调查”。然而在畜牧研究中,样本的容量 n 比总体的容量 N 往往要小得多。如例1.2.1的 A_1 , $n=14$,但作为总体,却要把全国过去、现在和将来的所有条件相同,用同样方法饲养的仔猪全部包括进去。因而,在这种情况下总体的容量 N 是无限的,与此相比, $n=14$ 就可以说是非常小的样本了。当 N 无限大时,其总体叫“无限总体”;当 N 有限时,其总体叫“有限总体”。

从人口普查的角度出发,全国人口是一个有限总体,但是如果从中选出一些人进行民意测验,从这个角度看,又可以认为全国人口实际上是一个无限总体。在畜牧科研中,即使是有限的总体,也往往作为无限总体来加以考虑和处理。

1.2.3 抽样

样本是代表总体的,所以可从样本的性质去估计总体的性质。为了正确地估计总体的性质,在从总体中抽取样本的时候,必须注意以下两点。

(1) 每个个体被抽中的概率是相等的;总体中的每个个体,都可以作为样本来代表总体。在这一点上是平等的。因此,