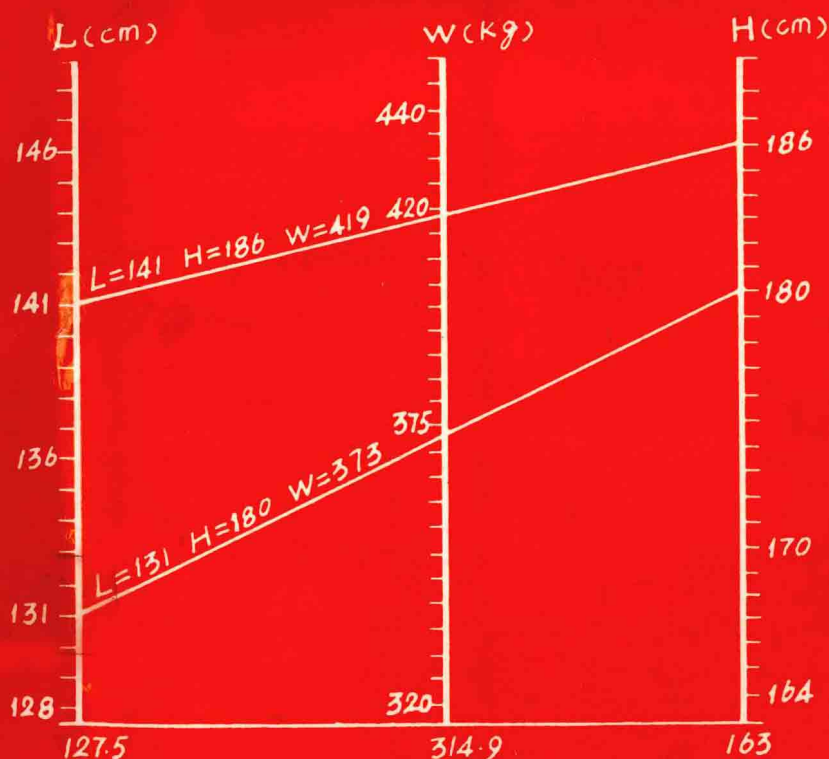


畜牧试验统计

俞渭江 郭卓元 编著



贵州科技出版社

畜牧试验统计

俞渭江 郭卓元 编著

贵州科技出版社

黔新登(90)03 号

畜牧试验统计

俞渭江 郭卓元 编著

贵州科技出版社出版发行

(贵阳市中华北路 289 号 邮政编码 550001)

贵州新华印刷厂印刷 贵州省新华书店经销

850×1168 毫米 32 开本 10.25 印张 260 千字

1995 年 1 月第 1 版 1995 年 6 月第 1 次印刷

印数 1—1000

ISBN7-80584-346-5/S · 007 80 元

前 言

“试验统计”是进行畜牧科学研究的一个十分重要的工具，也是我们从事科学试验应该具备的知识和技能，有了它才能正确设计试验，并对试验所得的数据，善于整理和统计分析，作出科学结论，以便在生产上参考应用。党的十一届三中全会以来，我国贯彻改革开放的方针，从国外引进不少新技术，以及电子计算机的应用，更使科技工作者如虎添翼，无疑这将对发展我国农业现代化起到越来越重要的作用。

作者于1978年3月承担国家农业部高教局委托主编全国高等农业院校畜牧专业适用的《生物统计附试验设计》教材，1980年10月出版试用以来，起到了启蒙的作用。但是由于我国畜牧业生产、科研的迅速发展，和高等教育要求在质量上提高，该书不论在广度和深度上均感不足，现已重新修改补充，第二版已于1989年11月问世，在质量上虽有所提高，但受大学本科教学时数的限制，增添新内容还很有限。鉴于高等农业院校培养动物遗传育种和动物营养专业硕士研究生教学计划中，需要开设高层次的生统课程。为此，作者根据长期从事畜牧试验的实践和生物统计的教学、科研所累积的经验，以及吸收国内外生物统计与试验设计的最新资料，尤以1980年6月美国加州大学耿旭教授及堪萨斯大学彭先恐教授来沈阳农学院讲学《生物统计应用》和《回归分析》；1985年9月英国里丁大学R. Mead和R. N. Curnow教授来南京农业大学讲授《生物统计方法》，以及1983年在成都举办全国畜牧专业第二期生物统计师资班的教材中吸收了不少新的内容，作者于1983年9月应西北农大聘请编写了为研究生开设的《高级生物统计》讲义，又于1986年4月应聘在山东农大讲学以及贵州农学院培养硕士研究生开设课程时反复使用过。为了使该教材能面向社会，面向生产，作者扩充增加基本生物统计方法和

常用试验设计，使之系统化，由浅入深，删繁就简，而形成本书以问世。

本书内容刻意求新，取材着重实用，注意反映国内外畜牧科学试验设计和统计分析的最新进展和成果，而不与现有的生统教材、统计书籍内容雷同。在极简要地概述基本和常用的统计方法之后，重点叙述近代生物统计的进展，特别是方差分析的数学模型及其方差组分，非线性回归误差分析，资料之最小二乘分析及其在家畜育种中的应用，加强抽样技术和最佳抽样方案的设计，增加了重复拉丁方、裂区设计及曲面反应设计的方法和应用。所增加的实例大多数是作者和合作的同事在近近年来科学试验应用的成果，比较结合我国畜牧生产实际。因此，本书也可作为畜牧专业研究生的教材以及供农牧科研工作者的参考书之用。为了读者能应用最小二乘分析及最优线性无偏预测 (Blup) 方法上机运算，特在附录(2)中介绍 Blup 的电子计算机程序，希望能为扩大新技术的使用服务。

本书在编著过程中，承贵州大学数学系俞宗源主任给予指引和合作 Blup 课题，以及电算站孙传民同志编制 Blup 程序，充实了本书的内容，初稿又经贵州大学数学系李明儒，贵州农学院基础部李大敏、晏才全等校阅，提出不少宝贵意见，作者又进行了必要的修改。我院牧医系动物营养学封朝壁对第十章作了有益的补充和完善。生物统计数学小组刘晓明、周明坤长期协助合作，以及农学院学报编辑室胡志淮制图，因此本书的完成与专家们的支持和帮助是分不开的。作者在此一并表示衷心的感谢。但由于本人的数理统计水平有限，书中难免有错误和缺点，敬请读者批评指正。

俞渭江
于贵州农学院
1993年3月

序

在本世纪 60~70 年代中,我曾在数理统计、实验设计和数量遗传学等领域中做了一些工作,译著了好几本书。但自 80 年代从政以后,由于公务繁冗,也就荒废了下来,引以为终生憾事。幸而当时有缘遇到一位和我志同道合的俞渭江教授。他数十年如一日,孜孜兀兀,取精用宏,著述丰富,深为钦佩。最近他又以其主编的《畜牧试验统计》(修订本)书稿见示,开卷如面故人。在欣赏之余,既愧自身之荒芜,又庆后来之居上。渭江教授嘱我为此书作序。因将过去在完成一本书之后的游戏笔墨——七律两首找出来相赠,借以为序,并示其同声相应与同气相求之感云尔。

其 一

万物参差本不齐,侏儒翁仲两端奇。
输赢素为随机望,丰歉每因概率迷。
量数回归分布律,解开秘奥乱麻题。
仙人指掌浑多事,谁上灵台问一乩。

其 二

一年辛苦不寻常,酌句裁行费思量。
比似蜂劳融作蜜,敢输蚁力缀成章。
人随红叶垂垂老,书傍黄花页页香。
今日把君如好友,西窗夜雨梦初长。

杨纪珂,1990 年 12 月 9 日写于北京。

目 录

序

前言

第一章 概论	(1)
第一节 研究畜牧试验统计的目的和任务	(1)
第二节 试验统计的发展及其功用	(2)
第三节 试验研究的步骤和过程	(5)
第四节 常用术语的基本概念	(6)
第二章 基本生物统计方法	(11)
第一节 均数差异显著性检验—t 检验	(11)
(一)概念	(11)
(二)步骤	(12)
(三)方法	(13)
(四)两类错误	(19)
第二节 方差分析	(20)
(一)数学模型	(20)
(二)平方和与自由度的可分性	(21)
(三)方差分析的显著性检验	(22)
(四)多重比较	(23)
(五)常用的方差分析方法	(26)
第三节 相关与线性回归	(40)
(一)概念	(40)
(二)简单相关	(41)
(三)等级相关	(44)
(四)线性回归	(45)

第三章 多元回归分析	(50)
第一节 多元线性回归模型和计算方法	(51)
第二节 应用实例	(54)
第三节 多元回归方程的显著性检验	(60)
第四章 非线性回归分析	(63)
第一节 研究曲线回归的意义和目的	(63)
第二节 曲线回归方程的类型	(64)
第三节 实测数据及回归曲线的配合	(68)
第四节 曲线回归中的误差分析	(73)
第五节 欠适的检验方法	(78)
第六节 配合二次多项式抛物线曲线	(86)
第七节 Logistic 曲线模型及其在动物生长研究上的应用	(88)
第五章 通径分析	(92)
第一节 基本概念	(92)
第二节 确定通径链的原则	(95)
第三节 通径系数的性质	(97)
第四节 通径系数的计算.....	(101)
第五节 通径分析的应用实例.....	(104)
第六节 通径分析的显著性检验.....	(109)
(一)回归方程的显著性检验.....	(109)
(二)通径系数的显著性检验.....	(110)
(三)通径系数差异的显著性检验.....	(110)
第六章 方差分析的数学模型.....	(114)
第一节 方差分析数学模型的分类.....	(114)
(一)固定模型.....	(114)
(二)随机模型.....	(115)
(三)混合模型.....	(115)

第二节 一元方差分析的数学模型和 F 检验	(116)
(一)固定模型.....	(117)
(二)随机模型.....	(119)
第三节 二元方差分析及其方差组分.....	(120)
(一)两向分类资料(无交互作用)的方差分析.....	(122)
(二)两向分类资料(有交互作用)的方差分析.....	(122)
第四节 两向分类次级样本含量不等资料的方差分析 ——近似计算法.....	(124)
第五节 三元方差分析及其方差组分.....	(126)
(一)三向分类资料及其均数的模式.....	(126)
(二)线性模型.....	(129)
(三)方差组分.....	(129)
(四)观察组不等的固定模型的方差分析——近似 计算方法.....	(131)
第七章 资料之最小二乘分析.....	(135)
第一节 最小二乘分析法的数学理论基础.....	(136)
(一)最小二乘原理.....	(136)
(二)高斯-马尔科夫定理	(139)
第二节 常用的最小二乘分析法.....	(141)
(一)单因素资料的最小二乘分析.....	(141)
(二)两因素(无交互作用)资料的最小二乘分析	(151)
(三)两因素(有交互作用)资料的最小二乘分析	(161)
第八章 最小二乘分析法在家畜育种中的应用.....	(170)
第一节 Blup 法的基本原理	(171)
(一)为什么要采用 Blup 法	(171)
(二)选择指数法的原理.....	(172)

(三)常规的 Blup 法	(172)
(四)混合模型的 Blup 法	(174)
第二节 最优线性无偏预测(Blup)在乳用种公牛育种值	
估计上的应用	(177)
(一)两因子(无交互作用)的 Blup 应用	(178)
(二)两因子(有交互作用)的 Blup 法应用实例 ...	(183)
(三)三因子 Blup 法的应用实例	(188)
第九章 抽样技术	(193)
第一节 抽样的基本原则	(193)
第二节 常用抽样方法及其适合样本含量的确定	(194)
(一)随机抽样法	(194)
(二)顺序抽样法	(197)
(三)分等按比例抽样法	(197)
(四)群组抽样法	(198)
(五)捕放捕的抽样估计法	(200)
第三节 多级抽样及最佳抽样方案的设计	(200)
(一)三级抽样的数学模型	(201)
(二)平方和与自由度计算	(201)
(三)三级抽样的方差分析和期望均方	(201)
(四)实例	(202)
(五)最佳抽样方案的设计	(206)
第十章 畜牧试验设计及其统计分析	(208)
第一节 概述	(208)
(一)试验计划的拟订	(209)
(二)试验方案的设计与注意事项	(209)
(三)试验的实施及其总结	(210)
第二节 试验设计的基本原理	(211)
(一)误差的概念及其缩小的方法	(211)

(二)试验设计的三大原则·····	(212)
第三节 常用畜牧试验设计及其统计分析·····	(214)
(一)随机区组设计·····	(214)
(二)拉丁方设计·····	(220)
(三)交叉设计·····	(233)
(四)析因试验设计·····	(239)
(五)裂区设计·····	(254)
(六)正交试验设计·····	(216)
(七)曲面反应设计·····	(268)
第四节 畜牧试验中应重视的几个问题·····	(282)
(一)试验动物的头数和分组的问题·····	(283)
(二)同一地区以场为组的随机区组设计·····	(285)
(三)衡量试验效应的指标选择问题·····	(285)
(四)畜牧试验中应尽可能避免非试验因素的影响问题 ·····	(286)
(五)试验的记录和总结分析·····	(286)
结语:试验统计应用的前景与展望 ·····	(287)
参考文献: ·····	(288)
附录:1. 常用统计表 ·····	(292)
(1)t 值表 ·····	(292)
(2)F 表 $\alpha 5\%$, $b 1\%$ ·····	(293)
(3)q 表 $\alpha 5\%$, $b 1\%$ (两尾) ·····	(295)
(4)SSR 表 ·····	(297)
(5) γ 表 ·····	(298)
2. Blup 单性状 Basic 程序 ·····	(299)
(1)两因子(无交互作用)Blup ·····	(299)
(2)两因子(有交互作用)Blup ·····	(302)
(3)三因子(无交互作用)Blup ·····	(308)

第一章 概 论

第一节 研究畜牧试验统计的目的和任务

“试验统计”是试验设计与统计分析的简称，是属于数理统计的一个分支。它的理论基础是概率论，广泛应用于工农业生产中的科学试验，同样也是我们畜牧科学研究工作者进行试验的必要工具和手段，最终目的是为了提高畜牧业生产力，作一种有计划的科学实践，以期得出可供生产上参考应用的结论性意见。

在畜牧试验中首先需要确定的是研究目的，试验因子，抽样方法和样本含量大小，以及对一些试验条件的控制，采取何种措施，使试验结果可以进行统计分析，得出比较可靠的结论，使科学研究真正走在生产的前头，以避免对一些“新技术”在不适宜的生产条件下盲目采用或引进新品种、新技术而遭受失败。例如品种试验、饲养试验、新技术试验、品种稳定性试验、推广试验等。所以，人们对一切新事物常常提出“一切通过试验”的要求，以便排除由于盲目因素而导致在经济上发生重大的损失之虞。因此一般在畜牧生产上引进品种、饲料、新技术都应先作一些探索性的小型试验，或者研究畜牧试验中某些因子最佳配比。例如赖氨酸、蛋氨酸在产蛋鸡饲养中的最佳配比试验也需要应用试验统计方法如曲面反应法（Response Surface Method）的多因子、多水平的一种新试验方法的引进和应用是很有必要的。

畜牧试验也是解决畜牧生产或科学试验提出新问题的一个有效手段。因为作为一个试验在小范围内它有可提供比较一致的条

件(环境、营养、试验动物等),仅设置唯一差异试验因素来比较,尽可能排除在试验中所发生干扰的影响,通过试验所作出的结论便可以分析某个试验因子的作用或效应,也允许试验者在设计时考虑到实际生产上推广时客观条件,对某些生产条件安排试验因子在将来可行的水平上。在解决某一个试验问题,客观上就前进了一大步,每次试验也会不断产生新情况和新问题,所以在畜牧生产中,有大量的科研课题需要畜牧科学工作者不断地探索和研究。因此畜牧科学发展是以畜牧业生产为基础的,也是为提高畜牧生产力服务的,从服务中扩大畜牧科研的成果取得经济效益和社会效益,为了迅速发展我国畜牧业,使我国综合性生态农业,农林牧副渔全面发展。就必须大力提倡畜牧试验研究工作,使科学研究真正走在生产前面,攻克技术难关。尽快使畜牧科技成果转化为生产力。

第二节 试验统计的发展及其功用

应用数理统计思想和方法来研究生物界的数量变化,包括从事畜牧科学试验称之为生物统计(Biometry),这门统计学科起源并不早,大约在19世纪末叶,1870年英国遗传学家高尔顿(F. Galton)开始研究人类身高的遗传,于1889年发表了《回归的普遍法则》一文,他首次提出回归(regression)的名词,我们可以通过以下的例子来说明。例如身材高的父亲所生的儿子一般也是高的,矮个子的父亲所生的儿子一般也是矮的,当然,高的父亲也会生矮的儿子,矮的父亲也会生高的儿子,可是这类例子发生的概率比较小,我们可以理解为父子之间身高的遗传存在着回归关系,也就是说身高的遗传有向中心回归的趋势,所以两端的高度的后代有向平均身高回归的现象;离开中心愈远,所受到回归的压力也愈大,回归这个名词就是这样产生的,后人将它

逐步发展成为统计学中的回归分析。1899年 K. 皮尔逊 (K. Pearson) 提出“偏离度指数”即卡方 (χ^2), 并创办了《生物统计学报》(Biometrics) 杂志, 以及他的学生古斯脱 (W. S. Gosset) 自称学生氏 (Student) 首创小样本理论, 并于 1908 年在学报中发表了《“t”检验》的论文, 在生物统计中逐步广泛应用。一直到 1923 年英国费雪 (R. A. Fisher) 第一个学者把变异来源不同的均方 (S_b^2) 与误差均方 (S_e^2) 的比值称之为 F 值, 他认为当 F 值大于理论上 5% 概率水准 (或临界值) 时, 该项变异来源的效应 (或称为处理效应) 已从偶然性变异中分析出来, 可以区别差异的显著性。这个方法称为方差分析 (Analysis of Variance), 人们为了纪念他首次发现该法定名为 F 检验, 继而又提出了著名田间试验的三个基本原则: (1) 试验必须设置重复 (Replication), (2) 试验处理必须随机化 (Randomization), (3) 试验必须进行局部控制 (Local control)。并且他同时提出了一些主要的试验设计方法, 1935 年发表著名的《试验设计》专著, 他被世人推崇为当代生物统计学的奠基人。

我国早在 30 年代王绶著《实用生物统计方法》于 1935 年出版问世, 当时仅有少数农学院开设此课, 畜牧专业一直到 1945 年吴仲贤在成都中央大学牧医系为研究生讲授《生物统计》, 1949 年建国以来范福仁著《生物统计学》(1966 年), 赵仁容、余松烈编著《田间试验方法》(1979), 马育华编著《试验统计》(1980)。杨纪珂等译《应用于农学和生物学实验的数理统计方法》于 1964 年出版以及 70 年代他作了大量的编著工作, 特别是倡导生物统计在畜牧科研上应用方面作出了重要贡献。1978 年 12 月全国高等农业院校畜牧专业教材编写会议上确定开设《生物统计附试验设计》为必修课, 并组成编写小组委托贵州农学院俞渭江主编, 第一版于 1980 年 10 月、第二版于 1989 年 11 月出版, 使我国畜牧兽医科研在应用生物统计方面有所起步, 为今后开展科学研究提

供有效工具，打下了一定的基础。

在畜牧试验中所研究的对象大多数表现为一定数量，所以必须通过系统的观察和测量，所收集的数据是有必要经过统计方法加以整理、计算和分析取得科学的结论。主要统计方法的基本功能有以下4点：

1. 对收集所得的数据进行初步整理，化繁为简，如绘制次数分布表或频率分布图，然后从众多的变量 (variable) 或观察值 (Observed Value) 归纳出几个能描述该变量特征的特征值或叫做参数 (parameter)，它是一个常量。例如代表群体集中性的平均数 (Mean)，反映离散性的标准差 (Standard deviation)，也代表变量的变异程度大小。

2. 提供由样本 (Sample) 推论总体的科学方法：统计上的总体 (Population)，是指某一性状变量的集合，往往被理解为无限的。例如，中国黑白花奶牛 1 胎 (305) 产奶量，它是该品种所有 1 胎 (305 天) 产奶量的集合。在这样特定条件下，它是客观存在，而且也可能是一个有限的群体。

样本是总体中抽取出来的一小部分，为了使样本能够代表总体，尽量避免试验工作者的主观偏见，用概率论的方法处理，必须遵循使总体中的每一个成员都有同等机会被取为样本的原则，我们称之为“随机抽样” (Random Sampling)，计算出来的样本特征数叫做统计量 (Statistic)。统计量是一个变量，它随样本不同而异，与未知参数无关。

由于总体相当庞大，通常难以求得各项参数，只能通过样本来科学地推断总体。也就是用统计量来推论总体，在某种意义上讲，数理统计就是研究如何由样本来推断总体的科学。

3. 研究如何通过误差方差比值的分析来判断处理效应是否显著的一种科学方法。畜牧试验通常也是一种比较试验，这种试验的特点是，如何在保持试验条件尽量一致和稳定的状况下，将

研究的因素（或叫做处理）将其效应精确地分析出来，当然试验中会产生抽样误差，以及试验条件变化所带来的误差等等混淆或参杂一些偶然因素的影响，尚有待用数理统计方法来将它剖分出去，例如，方差分析就有可能科学地分析出处理效应是否达到一定的显著水平，也就是采用处理效应与误差效应的方差比值进行F检验来作出科学的判断。

4. 搞好试验设计是提供科学试验的基础，要认识到试验设计与统计方法是相辅相成不可分割的。因此首先要搞好试验设计，确定试验的目的和要求，采用何种试验设计，制订好试验方案，包括确定因素配置，试验分组、样本含量、重复数、以试验条件如何控制等，是否符合费雪氏所提的试验设计的三大原则；然后研究试验设计能否达到试验目的和要求，而又可能用较少的人力和物力取得较多的试验信息，以期估计出处理的效应的显著性。畜牧科技工作者经常会发生由于事前没有选择好适宜的试验设计，常常丧失大量信息，甚至设计上失误，也会导致无法进行统计分析。当前也有发生缺乏统计知识，而把大量信息没有被充分利用和分析出来作为试验结果，实为可惜。总之，数理统计就是研究如何用有效的方法来收集和使用带随机性影响数据的一门学科。

第三节 试验研究的步骤和过程

畜牧试验研究虽然种类不同，例如：品种（包括引种、选种、育种）试验，饲养和营养试验，牧草栽培试验等，但是科研步骤大致可以分成以下6个方面：

1. 确定试验研究的目的，作出专业性假设。
2. 收集阅览以往发表的同类研究的论文及其结果，引进有益的部分。
3. 选定适合的试验设计和制订科研计划。

4. 组织人力和物力进行科研计划和试验的实施方案的制订和执行。

5. 整理试验取得的数据进行统计分析。

6. 作出科学研究结论，总结研究成果，以便推广，并提出需要进一步研究的方向和存在的问题。

我国试验研究大多数是属于国家和省级课题由国家资助科研经费，确定课题主持人和成员，共同商定科研计划，组织人力和物力按计划实施，但客观事物是会有变化的课题组有可能在征得上级同意可作部分修改，并作好年度和阶段小结，力求按期完成，写出总结报告和学术论文，和成果验收鉴定。研究进程中又会发现新问题，提出新的课题，从而再提高一步，向前发展。但科学研究的目的是提高生产力，所以取得科技成果之后，争取条件，进行中间试验，或多点多年试验，总之，更重要的是扩大成果推广和应用，尽快使科学技术转化为生产力。

第四节 常用术语的基本概念

（一）总体与样本

从畜牧生产和科学试验中，对所观察的某个性状，可以取得大量的数据。对此种研究对象的全体，也即是此性状变量的集合，称为**总体**（Population），它是客观存在的，但限于人力、物力及各种条件，往往无法全部取得，如中国黑白花奶牛第1胎305天的产奶量这个性状总体，现全国共有黑白花奶牛数百万头，一般无法获得这全部纪录资料。因此只能采用抽样和安排小型试验的方法，抽取一定数量的个体，作为统计的依据，被抽出的若干个体称为**样本**（Sample），例如：我们调查贵阳市若干个奶牛场的随机抽取200头黑白花奶牛第1胎305天产奶量纪录，作为样本来