



面向 21 世纪 课程 教材
Textbook Series for 21st Century

生物统计附试验设计

第三版

明道绪 主编

动物科学 动物医学专业用

中国农业出版社

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

生物统计附试验设计

第三版

明道绪 主编

动物科学 动物医学专业用

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

生物统计:附试验设计/明道绪主编.—3版.—北京:中国农业出版社,2002.6

面向 21 世纪课程教材

ISBN 7-109-07551-6

I. 生... II. 明... III. ①生物统计-高等学校-教材②生物统计-试验设计(数学)-高等学校-教材 IV. Q-332

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 017798 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人:傅玉祥

责任编辑 刘振生

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

1980 年 7 月第 1 版 1989 年 11 月第 2 版

2002 年 6 月第 3 版北京第 1 次印刷

开本:787mm×960mm 1/16 印张:23.5

字数:416 千字

定价:30.70 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误,请向出版社发行部调换)

第三版前言

《生物统计附试验设计》第三版是根据中国农业出版社“十五”高等农业院校教材出版规划组织编写的，并纳入“面向 21 世纪课程教材”系列。第三版编委会由四川农业大学明道绪、山西农业大学王钦德、西北农林科技大学耿社民、贵州大学傅筑荫、甘肃农业大学崔岷、华南农业大学陈文广、河南农业大学盛建华、西南民族学院郭春华、内蒙古农业大学金凤、西南农业大学宋代军、云南农业大学刘学洪和四川农业大学张红平共 12 人组成，于 2001 年 5 月在四川农业大学召开了编写会议。在编写会议上全体编委认真讨论、审定了“编写大纲”，确定了章、节安排，内容取舍、深度、广度和详略；并进行了编写分工。初稿完成后，由主编明道绪负责统稿，进行了必要的修改与增删，并请主编——四川农业大学荣廷昭审阅。

本教材包括绪论（明道绪编写），资料的整理（张红平编写），平均数、标准差与变异系数（耿社民、金凤编写），常用概率分布（金凤、明道绪编写）， t 检验（陈文广、郭春华编写），方差分析（王钦德、张红平编写），次数资料分析— χ^2 检验（耿社民、金凤编写），直线回归与相关（郭春华编写），多元线性回归与多项式回归（崔岷编写），协方差分析（宋代军编写），非参数检验（刘学洪编写），试验设计（傅筑荫、盛建华编写）共十二章（其中包含的部分选用内容，已在章或节标题上用“*”注明），并附有常用生物统计方法的 SAS 程序（张红平编写）以及常用统计数学用表。

在教材编写中，力求做到科学性与实用性、先进性与针对性相统一；做到循序渐进，由浅入深，深入浅出，简明易懂；在正确阐述重要的统计学原理的同时，着重于基本概念、基本方法的介绍，特别注意学生动手能力的培养；每一

种设计或分析方法都安排有步骤完整、过程详细的实例予以说明；各章都配备有习题（附简要答案）供读者练习。

全教材在保持本学科的系统性和科学性的前提下，注意引入本学科发展的新知识、新成果；注重拓宽学生的知识面和实践能力，以及统计分析与计算机科学的结合；避免与交叉学科有关知识的重复，力求体现强基础、重应用和当前进行的素质教育和创新教育的教学目标。

本教材除可作为高等农业院校动物科学类专业教学用书外，也可作为水产养殖学、生物技术等专业开设《生物统计》课程的教学用书，对畜牧、水产、生物技术科技工作者亦有重要参考价值。

本教材在编写过程中参考了有关中外文献和专著，编者对这些文献和专著的作者，对热情指导、大力支持编写工作的中国农业出版社武旭峰同志以及为本教材统稿作了大量具体工作的张红平博士、承担绘图工作的邹祖银同志一并表示衷心的感谢！

限于编者水平，错误、缺点在所难免，敬请生物统计学专家和广大读者批评指正，以便再版时修改。

编 者

2001年12月18日

第二版前言

本教材自1980年10月出版和试用以来，已经印刷6次。第一版基本上能适合我国畜牧专业的教学需要。可称为深入浅出，简明扼要，畜牧实例较多，编写的份量也适当，在教学上起了一定的积极和促进作用。但是随着我国农牧业生产和科学技术的不断发展和教学水平的提高，特别是电脑及计算机语言程序的推广和应用，初版的个别教学内容已显得陈旧，需及时修改、充实和更新。

遵照农牧渔业部1984年有关通知的要求，委托原编写组本着先修订教学大纲，在调查研究的基础上再修订教材的原则。编写组在修订了新的教学大纲后，广泛收集使用意见，尤其是参考了1983年7月在成都举办的全国畜牧专业生物统计第二期师资培训班中征求教师的意见，其中多数属于在使用教材方面反映出来的问题。经过分析研究，删去陈旧、繁琐和重复的部分。例如，删去了附录中通用202型手电两用计算机使用说明；概率相加相乘以及某些重复部分。而又在本版中增加一些新的内容，例如，一元方差分析的方差组分估计，两因素协方差分析，等级相关，曲线回归，交叉设计以及抽样技术中的多级抽样试验的设计与统计分析。在多元回归中，增加多项式回归等，并且还换进一些国内的新实例和补充部分习题供学生练习。为了不增加学时数而又能保持一定的系统性，教材中注明某些章节为选学内容，以便教师按实际情况取舍。总的看来，本版教材不论在广度和深度上均有较大的修改，在质量上也有所提高。

第一版中原由内蒙古农牧学院曹守谟承担编写的“直线相关和直线回归”以及“复回归与复相关”两章，曹守谟不幸病逝，经编写组推举，由东北农学院缪尧源完成。

为了保证本教材的质量，编写组还约请了4~5位同行专家，参加了本教材的审稿会议，逐章进行审阅和研讨，再

经编者修改定稿。另外还专程聘请了浙江农业大学周承钥教授审阅和解答疑难问题，以尽可能减少差错，保证质量。对此深表谢忱。

本教材自第一版到第二版的编审过程中，有不少同志提出了许多宝贵意见，特别是福建农学院夏增权、西北农业大学王彩兰等提供资料，丰富了教材内容。此外，贵州农学院刘晓明为本教材作了不少工作，借第二版问世之时，一并予以致谢。

编者

1986年9月

第二版修订者

主编 俞渭江（贵州农学院）
编写者 缪尧源（东北农学院）
王滋润（吉林农业大学）
杜荣臻（沈阳农业大学）
谢文采（山西农业大学）
明道绪（四川农业大学）
于汉周（南京农业大学）
审稿者 周承钥（浙江农业大学）
付永芬（北京农业大学）
徐继初（浙江农业大学）
关彦华（北京农学院）

第一版前言

本书是为高等农业院校畜牧专业而编写的。

根据畜牧专业对本门课程内容的要求，以及适应加快实现我国农业现代化和不断发展畜牧业新技术的需要，在内容方面着重于基本理论、基本技能和基本方法的讲授，力求由浅入深，循序渐进。并在各章后附有习题，作为学生进行课内课外作业练习之用。它对熟悉和掌握本门课程是必要的。

本教材为了达到、保持课程系统性以及加强基础理论的要求，对概率知识与理论分布作为专门一章，各院校可根据本专业《高等数学》的讲授情况，酌情增减。考虑到教材是教学中的一项基本建设，既需满足目前需要，又应兼顾今后发展，所以在教材中，还安排了一些选学内容，如：1. 差异显著性检验的非参数法；2. 方差分析中的基本假定和数据变换及同质性检验；3. 复相关等节。并标以“*”号，以资区别，各校在进行教学时，可视具体情况，自行处理。由于本门课程系数理统计方法在畜牧科学中的应用，考虑到学生已有一定的高等数学基础。所以在本教材中对某些公式的数学推导和原理作了一定的介绍，以利于启发学生的独立思考和培养分析问题的能力。

本书引用了一些国内、外文献和资料，初稿承兄弟院校生物统计课教师审查讨论，提出修改意见，修改稿形成后，又蒙赵仁镕教授审校，并提出宝贵意见，为此深表感谢！

由于编写时间短促和编写人员业务水平有限，错误和欠妥之处，欢迎同志们提出批评指正。

编者

1979年6月

第一版编审者

| | | |
|------------|---------|-----|
| 主 编 | 贵州农学院 | 俞渭江 |
| 编写者 | 内蒙古农牧学院 | 曹守谟 |
| | 吉林农业大学 | 王滋润 |
| | 沈阳农学院 | 杜荣臻 |
| | 山西农学院 | 谢文采 |
| | 四川农学院 | 明道绪 |
| | 江苏农学院 | 于汉周 |

目 录

第三版前言

第二版前言

第一版前言

| | |
|-------------------------------|----|
| 第一章 绪论 | 1 |
| 第一节 生物统计在畜禽、水产科学研究中的作用..... | 1 |
| 第二节 生物统计的常用术语..... | 3 |
| 第三节 统计学发展概况..... | 6 |
| 习 题 | 13 |
| 第二章 资料的整理 | 15 |
| 第一节 资料的分类 | 15 |
| 第二节 资料的整理 | 17 |
| 第三节 常用统计表与统计图 | 21 |
| 习 题 | 27 |
| 第三章 平均数、标准差与变异系数 | 28 |
| 第一节 平均数 | 28 |
| 第二节 标准差 | 34 |
| 第三节 变异系数 | 37 |
| 习 题 | 38 |
| 第四章 常用概率分布 | 39 |
| 第一节 事件与概率 | 39 |
| 第二节 概率分布 | 43 |
| 第三节 正态分布 | 45 |
| 第四节 二项分布 | 53 |
| 第五节 波松分布 | 57 |
| 第六节 样本平均数的抽样分布 | 60 |
| 第七节 t 分布 | 64 |
| 习 题 | 65 |

| | |
|---|-----|
| 第五章 t 检验 | 67 |
| 第一节 显著性检验的基本原理 | 67 |
| 第二节 样本平均数与总体平均数差异显著性检验 | 76 |
| 第三节 两个样本平均数的差异显著性检验 | 78 |
| 第四节 百分数资料差异显著性检验 | 84 |
| 第五节 总体参数的区间估计 | 87 |
| 习 题 | 89 |
| 第六章 方差分析 | 92 |
| 第一节 方差分析的基本原理与步骤 | 94 |
| 第二节 单因素试验资料的方差分析 | 112 |
| 第三节 两因素试验资料的方差分析 | 117 |
| * 第四节 方差分析的数学模型与期望均方 | 140 |
| 第五节 数据转换 | 147 |
| 习 题 | 150 |
| 第七章 次数资料分析——χ^2 检验 | 155 |
| 第一节 χ^2 统计量与 χ^2 分布 | 155 |
| 第二节 适合性检验 | 158 |
| 第三节 独立性检验 | 166 |
| 习 题 | 173 |
| 第八章 直线回归与相关 | 175 |
| 第一节 直线回归 | 176 |
| 第二节 直线相关 | 186 |
| * 第三节 曲线回归 | 190 |
| 习 题 | 198 |
| 第九章 多元线性回归与多项式回归 | 200 |
| 第一节 多元线性回归分析 | 200 |
| * 第二节 复相关分析 | 216 |
| * 第三节 偏相关分析 | 218 |
| * 第四节 多项式回归 | 224 |
| * 第五节 通径分析 | 228 |
| 习 题 | 244 |
| 第十章 协方差分析 | 246 |
| 第一节 协方差分析的意义 | 246 |
| 第二节 单因素试验资料的协方差分析 | 248 |

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 习 题 | 257 |
| * 第十一章 非参数检验 | 259 |
| 第一节 符号检验 | 259 |
| 第二节 秩和检验 | 262 |
| 第三节 等级相关分析 | 270 |
| 习 题 | 272 |
| 第十二章 试验设计 | 275 |
| 第一节 试验设计概述 | 275 |
| 第二节 动物试验计划 | 277 |
| 第三节 试验设计的基本原则 | 282 |
| 第四节 完全随机设计 | 284 |
| 第五节 随机单位组设计 | 287 |
| 第六节 拉丁方设计 | 292 |
| * 第七节 交叉设计 | 298 |
| * 第八节 正交设计 | 303 |
| 第九节 调查设计 | 318 |
| 第十节 样本含量的确定 | 320 |
| 习 题 | 325 |
| 附录 常用生物统计方法的 SAS 程序 | 327 |
| 附表 1 正态分布表 | 334 |
| 附表 2 正态分布的双侧分位数 u 表 | 337 |
| 附表 3 学生氏 t 值表 (两尾) | 337 |
| 附表 4 F 值表 (方差分析用) | 339 |
| 附表 5 q 值表 | 343 |
| 附表 6 Duncan's 新复极差测验的 SSR 值 | 345 |
| 附表 7 χ^2 值表 (一尾) | 346 |
| 附表 8 r 与 R 的显著数值表 | 348 |
| 附表 9 F 值表 (两尾, 方差齐性检验用) | 349 |
| 附表 10 (1) 符号秩和检验用 T 临界值表 | 350 |
| 附表 10 (2) 秩和检验用 T 临界值表 | 350 |
| 附表 10 (3) 秩和检验用 H 临界值表 | 351 |
| 附表 11 符号检验用 K 临界值表 | 352 |
| 附表 12 等级相关系数 r_s 临界值表 | 353 |

| | |
|-------------------------|-----|
| 附表 13 随机数字表 (I) | 353 |
| 随机数字表 (II) | 355 |
| 附表 14 常用正交表 | 356 |
| 主要参考文献 | 359 |

第一章

绪 论

第一节 生物统计在畜禽、水产科学研究中的作用

为了推动畜牧业、水产业的发展，常常要进行科学研究。例如畜禽、水产品品种资源研究，新品种的选育，新的饲养、管理技术研究等。这些研究都离不开调查或试验。进行调查或试验首先必须解决的问题是：如何合理地进行调查或试验设计。在实际研究工作中常常碰见这样的情况：由于调查或试验设计不合理，以致于无法从所获得的数据提取有用的信息，造成人力、物力和时间的浪费。若调查或试验设计方法好，用较少的人力、物力和时间即可收集到必要而有代表性的资料，从中获得可靠的结论，达到调查或试验的预期目的，收到事半功倍之效。

通过调查或试验能获得一定数量的数据。这些数据常常表现出程度不同的变异。例如测量 100 头猪的日增重所获得的 100 个数据，彼此不完全相同，表现出一定程度的变异；又如测量了 200 头黄牛的体高，所获得的 200 个数据，也表现出一定程度的变异。产生这种变异的原因，有的已被人们所了解。例如品种、性别、年龄、初始重、健康状况、饲养条件等不同，使得所测的猪的日增重、黄牛的体高表现出差异。另外，还有许多内在和外在的因素还未被人们所认识。由于这些人们已了解的因素和人们尚未认识而无法控制的因素作用，使得通过调查或试验得来的数据普遍具有变异性。因此进行调查或试验还必须解决的第二个问题是：如何科学地整理、分析所收集得来的具有变异的资料，揭示出隐藏在其内部的规律性。合理地进行调查或试验设计、科学地整理、分析所收集得来的资料，是生物统计 (biometrics) 的根本任务。

生物统计是数理统计的原理和方法在生物科学研究中的应用，是一门应用数学。它在畜禽、水产科学研究中具有十分重要的作用。

一、提供试验或调查设计的方法

试验设计这一概念有广义与狭义之分，广义的试验设计是指试验研究课题设计，也就是指整个试验计划的拟定，包含课题名称、试验目的，研究依据、内容及预期达到的效果，试验方案，供试单位的选取、重复数的确定、试验单位的分组，试验的记录项目和要求，试验结果的分析方法，经济效益或社会效益的估计，已具备的条件，需要购置的仪器设备，参加研究人员的分工，试验时间、地点、进度安排和经费预算，成果鉴定，学术论文撰写等内容。狭义的试验设计主要是指试验单位（如动物试验的畜、禽）的选取、重复数目的确定及试验单位的分组。生物统计中的试验设计主要指狭义的试验设计。合理的试验设计能控制和降低试验误差，提高试验的精确性，为统计分析获得试验处理效应和试验误差的无偏估计提供必要的数据库。

调查设计这一概念也有广义与狭义之分，广义的调查设计是指整个调查计划的制定，包括调查研究的目的、对象与范围，调查项目及调查表，抽样方法的选取，抽样单位、抽样数量的确定，数据处理方法，调查组织工作，调查报告撰写与要求，经费预算等内容。狭义调查设计主要包含抽样方法的选取，抽样单位、抽样数目的确定等内容。生物统计中的调查设计主要指狭义调查设计。合理的调查设计能控制与降低抽样误差，提高调查的精确性，为获得总体参数的可靠估计提供必要的数据库。

简而言之，试验或调查设计主要解决合理地收集必要而有代表性资料的问题。

二、提供整理、分析资料的方法

整理资料的基本方法，是根据资料的特性将其整理成统计表，绘制成统计图。通过统计表、图可以大致看到所得资料集中、离散的情况。并利用所收集得来的数据计算出几个统计量，以表示该资料的数量特征、估计相应的总体参数。

统计分析最重要的内容是差异显著性检验。通过抽样调查或控制试验，获得的是具有变异的资料。产生变异的原因是什么？是由于进行比较的处理间，例如不同品种、不同饲料配方间有实质性的差异或是由于无法控制的偶然因素所引起？显著性检验的目的就在于承认并尽量排除这些无法控制的偶然因素的干扰，将处理间是否存在本质差异揭示出来。显著性检验的方法很多，常用的

有 t 检验——主要用于检验两个处理平均数差异是否显著；方差分析——主要用于检验多个处理平均数间差异是否显著； χ^2 检验——主要用于由质量性状得来的次数资料的显著性检验等。

统计分析的另一个重要内容是对试验指标或畜禽性状间的关系进行研究，或者研究它们之间的联系性质和程度，或者寻求它们之间的联系形式，即进行相关分析与回归分析。通过对资料进行相关、回归分析，可以揭示出试验指标或性状间的内在联系，为畜禽、水产新品种选育等提供强有力的依据。

还有一类统计分析方法不考虑资料的分布类型，也不事先对有关总体参数进行估算，这类统计分析方法叫非参数检验法。非参数检验法计算简便。当通常的检验方法对畜禽、水产科研中的某些资料无能为力时，非参数检验法则正好发挥作用。

以上我们对生物统计在畜禽、水产科学研究中的作用作了概略的介绍。从中不难看出，生物统计对于进行畜禽、水产科学研究是多么重要。它是每一个畜禽、水产科技工作者必须掌握的基本工具。可喜的是，随着生物统计方法的普及、计算工具的改进、统计计算程序的编制，已有越来越多的科技工作者掌握并在实际研究工作中应用了生物统计，取得了显著成效。

第二节 生物统计的常用术语

生物统计是一门应用数学，它涉及较多的数学概念、计算公式和数学用表；从判断方式上要求摆脱传统的确定性推断方式而接受建立在概率论基础上的统计推断方式，这对初学者来说有一定难度。为了便于初学者学习，在本教材中除了结合实例，从应用的角度来介绍生物统计的基本概念、基本原理、基本方法外，每章后还附有一定数量的习题供初学者练习。对于初学者来说，能正确理解生物统计的基本概念，了解基本原理，掌握并应用所介绍的基本的试验设计与结果分析方法解决畜牧、水产等科学研究中收集、整理、分析资料的问题，也就达到预期目的了。

在这一节里介绍生物统计中几个最常用的术语。

一、总体与样本

根据研究目的确定的研究对象的全体称为总体 (population)，其中的一个研究单位称为个体 (individual)；总体的一部分称为样本 (sample)。例如研究中国黑白花乳牛头胎 305d 产乳量，所有中国黑白花乳牛头胎 305d 产乳量观测

值的全体就构成中国黑白花乳牛头胎 305d 产乳量总体；而观测 200 头中国黑白花乳牛头胎 305d 产乳量所得的 200 个观测值，则是中国黑白花乳牛头胎 305d 产乳量总体的一个样本，这个样本包含有 200 个个体。含有有限个个体的总体称为有限总体。例如上述中国黑白花乳牛头胎 305d 产乳量总体虽然包含的个体数目很多，但仍为有限总体。包含有无限多个个体的总体叫无限总体。例如在生物统计理论研究上的服从正态分布的总体、服从 t 分布的总体，包含一切实数，属于无限总体。在实际研究中还有一类假想总体。例如进行几种饲料的饲养试验，实际上并不存在用这几种饲料进行饲养的总体，只是假设有这样的总体存在，把所进行的试验看成是假想总体的一个样本。样本中所包含的个体数目叫样本容量或大小 (sample size)。例如上述中国黑白花乳牛头胎 305d 产乳量样本容量为 200。样本容量常记为 n 。通常把 $n \leq 30$ 的样本叫小样本， $n > 30$ 的样本叫大样本。

生物统计一般是通过样本来了解总体。这是因为或者总体是无限的、假想的；即使是有限的，但包含的个体数目相当多，要获得全部观测值须花费大量人力、物力和时间；或者观测值的获得带有破坏性，例如猪的瘦肉率测定，要求将猪屠宰后，把剥离板油和肾脏的胴体分割为瘦肉、脂肪、皮、骨四部分，再进行计算，不允许也没有必要对每一头猪一一屠宰测定。研究的目的是要了解总体，然而能观测到的却是样本，通过样本来推断总体是统计分析的基本特点。为了能可靠地从样本来推断总体，要求样本具有一定的含量和代表性。只有从总体随机抽取的样本才具有代表性。所谓随机抽取 (random sampling)，是指总体中的每一个个体都有同等的机会被抽取组成样本。然而样本毕竟只是总体的一部分，尽管样本具有一定的含量也具有代表性，通过样本来推断总体也不可能是百分之百的正确。有很大的可靠性，但有一定的错误率这是统计分析的又一特点。所以 Lienert (1973) 指出：作为科学方法论的现代统计学究竟能提供什么？它能回答在抽样调查中所发现的差异、联系和规律性以什么样的概率纯属偶然？对于总体来说，这些发现作为一般规律的可靠程度有多大？

二、参数与统计量

为了表示总体和样本的数量特征，需要计算出几个特征数。由总体计算的特征数叫参数 (parameter)；由样本计算的特征数叫统计量 (statistic)。常用希腊字母表示参数，例如用 μ 表示总体平均数，用 σ 表示总体标准差；常用拉丁字母表示统计量，例如用 \bar{x} 表示样本平均数，用 S 表示样本标准差。总体参数由相应的统计量来估计，例如用 \bar{x} 估计 μ ，用 S 估计 σ 等。