




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 生物统计附试验设计

第四版

明道绪 主编

 中国农业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 生物统计附试验设计

第四版

明道绪 主编

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. —4 版. —北京: 中国农业出版社, 2008. 5

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-109-12069-3

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 (2008) 第 051939 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 100125)

责任编辑 朱 雷

---

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

1980 年 10 月第 1 版 2008 年 5 月第 4 版

2008 年 5 月第 4 版北京第 1 次印刷

---

开本: 820mm×1080mm 1/16 印张: 21.75

字数: 507 千字

定价: 36.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

## 第四版编者名单

- 主 编** 明道绪（四川农业大学）
- 副 主 编** 王钦德（山西农业大学）  
刘学洪（云南农业大学）  
张红平（四川农业大学）
- 参 编** 崔 岷（甘肃农业大学）  
宋代军（西南大学）  
郭春华（西南民族大学）  
金 凤（内蒙古农业大学）  
蔡惠芬（贵州大学）  
张 豪（华南农业大学）
- 主 审** 李学伟（四川农业大学）

## 第四版前言

面向 21 世纪课程教材《生物统计附试验设计》(第三版)于 2002 年出版。由于该教材基本概念、基本原理、基本方法叙述正确,深入浅出;教材的深度、广度适中;实例丰富,步骤完整,因而深受高等农业院校师生的好评和欢迎,荣获 2005 年全国高等农业院校优秀教材奖。这本教材的出版对提高我国高等农业院校动物科学类各本科专业生物统计课程的教学质量做出了积极贡献。

《生物统计附试验设计》(第四版)经申报批准为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,由中国农业出版社组织修订出版。第四版仍由四川农业大学明道绪教授主编,参加修订的人员有山西农业大学王钦德教授、甘肃农业大学崔岷教授、云南农业大学刘学洪教授、西南民族大学郭春华教授、西南大学宋代军教授、内蒙古农业大学金凤副教授、贵州大学蔡惠芬副教授、华南农业大学张豪副教授和四川农业大学张红平副教授。

修订分工为:第一章 绪论 明道绪;第二章 资料的整理 张红平;第三章 资料的统计描述 金凤;第四章 常用概率分布 明道绪、金凤;第五章 假设检验 张豪;第六章 方差分析 王钦德;第七章 次数资料分析—— $\chi^2$  检验 刘学洪;第八章 直线回归与相关 郭春华;第九章 多元线性回归与多项式回归 崔岷;第十章 协方差分析 宋代军;第十一章 非参数检验 刘学洪;第十二章 试验设计 蔡惠芬、王钦德;常用生物统计方法的 SAS 程序 张红平;汉英名词对照表 张红平。修订稿完成后,由主编明道绪教授负责统稿,对基本概念、基本原理、基本方法的叙述仔细推敲、斟酌,做了必要的修改与增删,并请四川农业大学李学伟教授审阅。

第四版在第三版的基础上作了如下改动:将第三章的标题“平均数、标准差与变异系数”改为“资料的统计描述”,将第五章的标题“ $t$  检验”改为“假设检验”;第七章次数资料分析—— $\chi^2$  检验增加了第四节方差同质性检验;删去了第九章多元线性回归与多项式回归中的第五节通径分析;删去了对学生学习、掌握试验设计与统计分析方法有一定负面影响的习题参考答案;对常用生物统计方法的 SAS 程序作了增补;对个别笔误和排版错误作了更正;增加了汉英名词对照表;对附录的统计数学用表以中国科学院数学研究所概率统计室编、科学出版社出版的《常用数理统计表》为准进行了再次核对等。

第四版在修订过程中参考了有关中外文献和专著,修订者对这些文献和专著的作者、对热情指导、大力支持修订工作的中国农业出版社一并表示衷心感谢!

尽管第四版在第三版的基础上作了改进,但限于修订者的水平,错误、疏漏仍在所难免,敬请生物统计专家、教师和广大读者批评指正,以便再版时修改。

编者

2007 年 12 月

## 第三版编审者

- 主 编** 明道绪（四川农业大学）
- 副 主 编** 王钦德（山西农业大学）  
耿社民（西北农林科技大学）  
傅筑荫（贵州大学）
- 主 审** 荣廷昭（四川农业大学）
- 参 编 者** 崔 岷（甘肃农业大学）  
陈文广（华南农业大学）  
盛建华（河南农业大学）  
郭春华（西南民族学院）  
金 凤（内蒙古农业大学）  
宋代军（西南农业大学）  
刘学洪（云南农业大学）  
张红平（四川农业大学）

## 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，并请主审——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—— $\chi^2$  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（其中包含的部分选学内容，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）以及常用统计数学附表。

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提高实践能力，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，需要及时修改、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。为了不增加教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

# 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

# 目 录

第四版前言	
第三版前言	
第二版前言	
第一版前言	
<b>第一章 绪论</b> .....	1
<b>第一节 生物统计在动物科学研究中的作用</b> .....	1
一、提供试验或调查设计的方法 .....	1
二、提供整理、分析资料的方法 .....	2
<b>第二节 生物统计常用术语</b> .....	2
一、总体与样本 .....	3
二、参数与统计数 .....	3
三、准确性与精确性 .....	4
四、随机误差与系统误差 .....	4
<b>第三节 统计学发展概况</b> .....	5
一、古典记录统计学 .....	5
二、近代描述统计学 .....	6
三、现代推断统计学 .....	8
四、统计学在中国的传播 .....	10
习题 .....	11
<b>第二章 资料的整理</b> .....	12
<b>第一节 资料的分类</b> .....	12
一、数量性状资料 .....	12
二、质量性状资料 .....	12
三、半定量(等级)资料 .....	13
<b>第二节 资料的整理</b> .....	13
一、资料的检查与核对 .....	13
二、资料的整理方法 .....	14
<b>第三节 常用统计表与统计图</b> .....	18
一、统计表 .....	18

二、统计图 .....	19
习题 .....	22
<b>第三章 资料的统计描述 .....</b>	<b>24</b>
<b>第一节 平均数.....</b>	<b>24</b>
一、算术平均数 .....	24
二、中位数 .....	26
三、几何平均数 .....	27
四、众数 .....	28
五、调和平均数 .....	28
<b>第二节 标准差.....</b>	<b>29</b>
一、标准差的意义 .....	29
二、标准差的计算方法 .....	31
三、标准差的特性 .....	32
<b>第三节 变异系数 .....</b>	<b>32</b>
习题 .....	33
<b>第四章 常用概率分布 .....</b>	<b>34</b>
<b>第一节 事件与概率 .....</b>	<b>34</b>
一、事件 .....	34
二、概率 .....	35
三、小概率事件实际不可能性原理 .....	37
<b>第二节 概率分布 .....</b>	<b>37</b>
一、随机变量.....	37
二、离散型随机变量的概率分布 .....	38
三、连续型随机变量的概率分布 .....	38
<b>第三节 正态分布 .....</b>	<b>39</b>
一、正态分布的定义及其特征 .....	40
二、标准正态分布 .....	41
三、正态分布的概率计算 .....	41
<b>第四节 二项分布 .....</b>	<b>45</b>
一、贝努利试验及其概率公式 .....	45
二、二项分布的定义及性质.....	46
三、二项分布的概率计算及应用条件 .....	47
四、二项分布的平均数与标准差 .....	48
<b>第五节 波松分布 .....</b>	<b>49</b>
一、波松分布的定义 .....	49

二、波松分布的概率计算 .....	50
第六节 样本平均数的抽样分布 .....	51
一、样本平均数的抽样分布 .....	52
二、标准误 .....	54
第七节 $t$ 分布 .....	55
习题 .....	56
<b>第五章 假设检验</b> .....	<b>58</b>
第一节 假设检验的基本原理 .....	58
一、假设检验的意义 .....	58
二、假设检验的基本步骤 .....	60
三、显著水平与两种类型的错误 .....	61
四、两尾检验与一尾检验 .....	63
五、假设检验应注意的问题 .....	65
第二节 单个样本平均数的假设检验 .....	66
第三节 两个样本平均数的假设检验 .....	67
一、非配对设计两个样本平均数的假设检验 .....	67
二、配对设计两个样本平均数的假设检验 .....	70
第四节 百分数资料的假设检验 .....	72
一、单个样本百分数的假设检验 .....	73
二、两个样本百分数的假设检验 .....	74
第五节 总体参数的区间估计 .....	75
一、正态总体平均数 $\mu$ 的置信区间 .....	76
二、二项总体百分数 $p$ 的置信区间 .....	77
习题 .....	77
<b>第六章 方差分析</b> .....	<b>79</b>
第一节 方差分析的基本原理与步骤 .....	80
一、线性模型与基本假定 .....	80
二、平方和与自由度的分解 .....	82
三、期望均方 .....	84
四、 $F$ 分布与 $F$ 检验 .....	85
五、多重比较 .....	87
* 六、单一自由度的正交比较 .....	92
第二节 单因素试验资料的方差分析 .....	96
一、各处理重复数相等的方差分析 .....	96
二、各处理重复数不等的方差分析 .....	98

第三节 两因素试验资料的方差分析	101
一、两因素交叉分组试验资料的方差分析	101
二、系统分组资料的方差分析	115
* 第四节 方差分析的数学模型与期望均方	122
一、数学模型	122
二、期望均方	123
三、方差分量的估计	126
第五节 数据转换	127
习题	131
<b>第七章 次数资料分析——<math>\chi^2</math>检验</b>	<b>136</b>
第一节 统计数 $\chi^2$ 与 $\chi^2$ 分布	136
一、统计数 $\chi^2$ 的意义	136
二、 $\chi^2$ 分布	137
三、 $\chi^2$ 的连续性矫正	138
第二节 适合性检验	138
一、适合性检验的意义	138
二、适合性检验的方法	139
* 三、分割 $\chi^2$ 检验	140
* 四、资料分布类型的适合性检验	142
第三节 独立性检验	146
一、独立性检验的意义	146
二、独立性检验的方法	146
* 第四节 方差同质性检验	153
习题	154
<b>第八章 直线回归与相关</b>	<b>156</b>
第一节 直线回归	157
一、直线回归方程的建立	157
二、直线回归的假设检验	160
* 三、直线回归的区间估计	163
第二节 直线相关	165
一、决定系数和相关系数	165
二、相关系数的计算	166
三、相关系数的假设检验	167
四、相关系数与回归系数的关系	167

五、应用直线回归与相关的注意事项 .....	168
* 第三节 曲线回归 .....	169
一、曲线回归分析概述 .....	169
二、能直线化的曲线类型 .....	169
习题 .....	175
* 第九章 多元线性回归与多项式回归 .....	176
第一节 多元线性回归分析 .....	176
一、多元线性回归方程的建立 .....	176
二、多元线性回归的假设检验 .....	180
第二节 复相关分析 .....	188
一、复相关的概念及意义 .....	188
二、复相关系数的假设检验 .....	189
第三节 偏相关分析 .....	190
一、偏相关系数的意义与计算 .....	190
二、偏相关系数的假设检验 .....	192
第四节 多项式回归 .....	195
一、多项式回归的概念 .....	195
二、多项式回归分析的一般方法 .....	195
三、一元二次多项式回归分析 .....	195
习题 .....	198
第十章 协方差分析 .....	200
第一节 协方差分析的意义与功用 .....	200
一、协方差分析的意义 .....	200
二、协方差分析的功用 .....	200
第二节 单因素试验资料的协方差分析 .....	201
习题 .....	210
* 第十一章 非参数检验 .....	211
第一节 符号检验 .....	211
一、配对资料的符号检验 .....	211
二、样本中位数与总体中位数比较的符号检验 .....	212
第二节 秩和检验 .....	213
一、配对试验资料的符号秩和检验 (Wilcoxon 配对法) .....	214
二、非配对试验资料的秩和检验 (Wilcoxon 非配对法) .....	215
三、多个样本比较的秩和检验 (Kruskal - Wallis 法, H 法) .....	216



四、多个样本两两比较的秩和检验 (Nemenyi - Wilcoxon - Wilcox 法) .....	218
第三节 等级相关分析 .....	220
习题 .....	223
<b>第十二章 试验设计</b> .....	<b>225</b>
第一节 动物试验概述 .....	225
一、动物试验的任务 .....	225
二、动物试验的特点 .....	225
三、动物试验的要求 .....	226
第二节 动物试验计划 .....	227
一、试验计划的内容及要求 .....	227
二、试验方案的拟定 .....	228
第三节 试验设计的基本原则 .....	230
第四节 完全随机设计 .....	231
一、完全随机设计方法 .....	232
二、完全随机设计试验结果的统计分析 .....	233
三、完全随机设计的优缺点 .....	233
第五节 随机单位组设计 .....	234
一、随机单位组设计方法 .....	234
二、随机单位组设计试验结果的统计分析 .....	235
三、随机单位组设计的优缺点 .....	238
第六节 拉丁方设计 .....	238
一、拉丁方简介 .....	238
二、拉丁方设计方法 .....	239
三、拉丁方设计试验结果的统计分析 .....	241
四、拉丁方设计的优缺点 .....	243
*第七节 交叉设计 .....	244
一、 $2 \times 2$ 交叉设计试验结果的分析方法 .....	244
二、 $2 \times 3$ 交叉设计试验结果的分析方法 .....	246
三、交叉设计的优缺点及注意事项 .....	248
*第八节 正交设计 .....	248
一、正交设计的概念及原理 .....	249
二、正交表及其特性 .....	250
三、正交设计方法 .....	251
四、正交设计试验结果的统计分析 .....	253
五、因素间有交互作用的正交设计与分析 .....	259
第九节 调查设计 .....	262