



普通高等教育农业农村部“十三五”规划教材
全国高等农林院校“十三五”规划教材
四川省“十二五”普通高等教育本科规划教材
全国高等农林院校教材经典系列



生物统计附试验设计

SHENGWU TONGJI FU SHIYAN SHEJI

第六版

明道绪 刘永建◎主编

首批全国优秀出版社

 中国农业出版社

普通高等教育农业农村部“十三五”规划教材
全国高等农林院校“十三五”规划教材
四川省“十二五”普通高等教育本科规划教材
全国高等农林院校教材经典系列

内
容
简
介

生物统计附试验设计

第六版

明道绪 刘永建◎主编



中国农业出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

生物统计附试验设计/明道绪, 刘永建主编. —6
版. —北京: 中国农业出版社, 2019. 11

普通高等教育农业农村部“十三五”规划教材 全国
高等农林院校“十三五”规划教材 四川省“十二五”普
通高等教育本科规划教材 全国高等农林院校教材经典系
列

ISBN 978-7-109-25986-7

I. ①生… II. ①明… ②刘… III. ①生物统计-高
等学校-教材 IV. ①Q-332

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 220079 号

中国农业出版社出版

地址: 北京市朝阳区麦子店街 18 号楼

邮编: 100125

责任编辑: 何 微 文字编辑: 朱

版式设计: 杜 然 责任校对: 刘丽

印刷: 北京通州皇家印刷厂

版次: 1980 年 10 月第 1 版 2019 年

印次: 2019 年 11 月第 6 版北京第 1 次

发行: 新华书店北京发行所

开本: 889mm×1194mm 1/16

印张: 20.75

字数: 570 千字

定价: 49.50 元

版权所有·侵权必究

凡购买本社图书, 如有印装质量问题, 我社负责调换。

服务电话: 010-59195115 010-59194918

内 容 简 介

本教材包含绪论、资料的整理、资料的统计描述、常用概率分布、 t 检验与 u 检验、方差分析、 χ^2 检验、直线回归分析与相关分析、多元线性回归分析与多项式回归分析、协方差分析、非参数检验、试验设计与调查设计、常用生物统计方法的 SAS 程序、常用生物统计方法的 R 脚本、课程实验、常用数理统计表等内容，介绍基本的、常用的、重要的试验或调查设计方法，以及对试验或调查获得资料进行整理分析的方法和常用生物统计方法的 SAS 程序和 R 脚本；内容广度、深度选择恰当，具有科学性、系统性、针对性、实用性，基本概念、基本原理、基本方法叙述正确，条理清晰、简明扼要、深入浅出，实例丰富、过程详细、步骤完整；可作为高等农业院校动物科学类各本科专业生物统计课程教材，对于动物科学研究工作者也是一本提供试验或调查设计方法、提供对试验或调查获得的资料进行整理分析方法的重要参考书。

第六版编者名单

- 主 编** 明道绪 (四川农业大学)
刘永建 (四川农业大学)
- 副主编** 刘学洪 (云南农业大学)
张 豪 (华南农业大学)
- 参 编** 宋代军 (西南大学)
郭春华 (西南民族大学)
李 利 (四川农业大学)
徐向宏 (甘肃农业大学)
金 凤 (内蒙古农业大学)
蔡惠芬 (贵州大学)
高鹏飞 (山西农业大学)
陈 静 (沈阳农业大学)
孙 伟 (扬州大学)

第一版编者名单

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

第二版编审者名单

- 主 编 俞渭江 (贵州农学院)
参 编 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 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)

第三版编审者名单

- 主 编** 明道绪 (四川农业大学)
- 副主编** 王钦德 (山西农业大学)
- 耿社民 (西北农林科技大学)
- 傅筑荫 (贵州大学)
- 参 编** 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)
- 审 稿** 荣廷昭 (四川农业大学)

第四版编审者名单

- 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)
- 审 稿** 李学伟 (四川农业大学)

编 者
2019年12月

第五版编者名单

- 主 编 明道绪 (四川农业大学) 主
副主编 刘学洪 (云南农业大学) 主
张红平 (四川农业大学)
参 编 宋代军 (西南大学)
郭春华 (西南民族大学)
李 利 (四川农业大学)
徐向宏 (甘肃农业大学)
金 凤 (内蒙古农业大学)
蔡惠芬 (贵州大学)
张 豪 (华南农业大学)
高鹏飞 (山西农业大学)
陈 静 (沈阳农业大学)
安晓萍 (内蒙古农业大学)

第六版前言

本教材经申报批准立项为普通高等教育农业农村部“十三五”规划教材，四川农业大学明道绪教授、刘永建教授任主编。

本教材编写组由四川农业大学明道绪教授、刘永建教授、李利教授，云南农业大学刘学洪教授，西南大学宋代军教授，西南民族大学郭春华教授，甘肃农业大学徐向宏副教授，内蒙古农业大学金凤副教授，贵州大学蔡惠芬副教授，华南农业大学张豪教授，山西农业大学高鹏飞副教授，沈阳农业大学陈静博士，扬州大学孙伟教授组成。

本教材仍包含 12 章，第一章 绪论（明道绪编写）；第二章 资料的整理（陈静编写）；第三章 资料的统计描述（金凤编写）；第四章 常用概率分布（明道绪、孙伟编写）；第五章 t 检验与 u 检验（张豪编写）；第六章 方差分析（李利、高鹏飞编写）；第七章 χ^2 检验（刘学洪编写）；第八章 直线回归分析与相关分析（郭春华编写）；第九章 多元线性回归分析与多项式回归分析（徐向宏编写）；第十章 协方差分析（宋代军编写）；第十一章 非参数检验（徐向宏编写）；第十二章 试验设计与调查设计（蔡惠芬、刘永建编写）；文后有附录常用生物统计方法的 SAS 程序（刘永建编写）、常用生物统计方法的 R 脚本（刘永建编写）、课程实验（刘永建编写）、常用数理统计表（徐向宏选编），汉英名词对照表（刘永建编写）。建议选学的章、节、段用“*”注明。

本教材是对《生物统计附试验设计》第五版修订更改完成，增加了常用生物统计方法的 R 脚本和课程实验两部分内容，对个别章、节、段的标题作了更改，对个别文字叙述作了修改，对个别习题作了更改，对个别笔误作了更正。

本教材在修订过程中参考了有关中外文献和专著，编写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一并表示衷心感谢！

尽管本教材在第五版的基础上作了修订更改，但限于编写者的水平，也许教材还有需要进一步修订更改之处，敬请生物统计专家、教师和广大读者提出修订更改建议，以便再版时修订更改。

编者

2019 年 12 月

第一版前言

张红军 (四川农业大学)

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。

本教材引用了一些国内、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,又蒙赵仁镛教授审校,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

张红军

目 录

第六版前言

第一版前言

● 第一章 绪论	1
第一节 生物统计在动物科学研究中的作用	1
一、提供试验或调查设计方法	1
二、提供数据整理和分析的方法	2
第二节 生物统计常用术语	3
一、总体与样本	3
二、参数与统计数	4
三、准确性与精确性	4
四、随机误差与系统误差	5
* 第三节 统计学发展概况	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	9
习题	10
● 第二章 资料的整理	11
第一节 资料的分类	11
一、数量性状资料	11
二、质量性状资料	11
三、等级资料	12
第二节 资料的检查核对与整理方法	12
一、资料的检查核对	13
二、资料的整理方法	13
第三节 常用统计表与统计图	17
一、统计表	17
二、统计图	18
习题	21

● 第三章 资料的统计描述	23
第一节 平均数	23
一、算术平均数	23
二、中位数	25
三、几何平均数	26
四、众数	27
五、调和平均数	27
第二节 标准差	28
一、标准差的意义	28
二、标准差的计算方法	29
第三节 变异系数	30
习题	31
● 第四章 常用概率分布	32
第一节 事件与概率	32
一、事件	32
二、概率	33
三、小概率事件实际不可能性原理	35
第二节 概率分布	35
一、随机变量	35
二、离散型随机变量的概率分布	36
三、连续型随机变量的概率分布	36
第三节 正态分布	37
一、正态分布的定义及其特征	37
二、标准正态分布	38
三、正态分布的概率计算	39
第四节 二项分布	42
一、伯努利试验及其概率计算公式	42
二、二项分布的定义及其特征	43
三、二项分布的概率计算及其应用条件	44
四、二项分布的平均数与标准差	45
第五节 泊松分布	45
一、泊松分布的定义	46
二、泊松分布的概率计算	47
第六节 样本平均数的抽样分布与标准误	48
一、样本平均数的抽样分布	48
二、标准误	50
第七节 t 分布	50
习题	51

● 第五章 t 检验与 u 检验	53
第一节 假设检验的基本原理	53
一、假设检验的意义	53
二、假设检验的基本步骤	54
三、显著水平与两种类型的错误	56
四、两尾检验与一尾检验	57
五、假设检验的注意事项	58
第二节 单个样本平均数的假设检验—— t 检验	59
第三节 两个样本平均数的假设检验—— t 检验	61
一、非配对设计两个样本平均数的假设检验	61
二、配对设计两个样本平均数的假设检验	63
第四节 百分数资料的假设检验—— u 检验	65
一、单个样本百分数的假设检验	65
二、两个样本百分数的假设检验	66
第五节 总体参数的区间估计	68
一、正态总体平均数 μ 的置信区间	68
二、二项总体百分数 p 的置信区间	69
习题	69
● 第六章 方差分析	72
第一节 方差分析的基本原理与步骤	73
一、线性模型与基本要求	73
二、平方和与自由度的分解	75
三、期望均方	77
四、 F 分布与 F 检验	78
五、多重比较	79
*六、单一自由度的正交比较	84
第二节 单因素试验资料的方差分析	87
一、各个处理重复数相等的单因素试验资料的方差分析	88
二、各个处理重复数不等的单因素试验资料的方差分析	89
第三节 两因素试验资料的方差分析	92
一、两因素交叉分组试验资料的方差分析	92
二、两因素系统分组试验资料的方差分析	105
* 第四节 方差分析模型分类与期望均方	111
一、处理效应分类	111
二、方差分析模型分类	112
三、期望均方与 F 值的计算	113
四、方差分量估计	115
第五节 观测值转换	116

习题	119
第七章 χ^2 检验	124
第一节 统计数 χ^2 与 χ^2 分布	124
一、统计数 χ^2 的意义	124
二、 χ^2 分布	125
三、 χ^2 的连续性矫正	126
第二节 适合性检验	126
一、适合性检验的意义	126
二、适合性检验的方法	127
三、资料分布类型的适合性检验	130
第三节 独立性检验	133
一、独立性检验的意义	133
二、独立性检验的方法	134
* 第四节 方差一致性检验	140
习题	141
第八章 直线回归分析与相关分析	143
第一节 直线回归分析	144
一、直线回归方程的建立	144
二、直线回归的假设检验	147
*三、直线回归的区间估计	149
第二节 直线相关分析	151
一、决定系数与相关系数	151
二、相关系数的计算	152
三、相关系数的假设检验	152
四、直线回归分析与相关分析的关系	153
五、直线回归分析与相关分析的注意事项	153
* 第三节 曲线回归分析	154
一、曲线回归分析概述	154
二、可直线化的曲线函数类型	155
习题	160
*第九章 多元线性回归分析与多项式回归分析	162
第一节 多元线性回归分析	162
一、多元线性回归方程的建立	162
二、多元线性回归的假设检验	166
第二节 复相关分析	173
一、复相关系数的意义与计算	173

二、复相关系数的假设检验	173
第三节 偏相关分析	174
一、偏相关系数的意义与计算	174
二、偏相关系数的假设检验	177
第四节 多项式回归分析	179
一、多项式回归分析概述	179
二、多项式回归分析的一般方法	179
三、一元二次多项式回归分析	180
习题	182
第十章 协方差分析	184
第一节 协方差与协方差分析	184
一、协方差的意义	184
二、协方差分析的意义与功用	185
第二节 单因素试验资料回归模型的协方差分析	185
习题	193
*第十一章 非参数检验	195
第一节 符号检验	195
一、配对设计试验资料的符号检验	195
二、单个样本的符号检验	196
第二节 秩和检验	197
一、配对设计试验资料的符号秩和检验 (Wilcoxon 配对法)	197
二、非配对设计试验资料的秩和检验 (Wilcoxon 非配对法)	199
三、多个样本比较的秩和检验 (Kruskal-Wallis 法, H 法)	200
四、多个样本两两比较的秩和检验 (Nemenyi-Wilcoxon-Wilcox 法)	202
第三节 等级相关分析	204
习题	206
第十二章 试验设计与调查设计	209
第一节 动物试验概述	209
一、动物试验的任务	209
二、动物试验的特点	209
三、动物试验的要求	210
第二节 动物试验计划	211
一、试验计划的内容	211
二、试验方案的拟订	213
第三节 试验设计的基本原则	215
第四节 完全随机设计	216

一、完全随机设计方法	216
二、完全随机设计试验资料的统计分析	218
三、完全随机设计的优缺点	218
第五节 随机单位组设计	218
一、随机单位组设计方法	218
二、随机单位组设计试验资料的统计分析	220
三、随机单位组设计的优缺点	222
第六节 拉丁方设计	223
一、拉丁方	223
二、拉丁方设计方法	224
三、拉丁方设计试验资料的统计分析	225
四、拉丁方设计的优缺点	228
*第七节 交叉设计	228
一、 2×2 交叉设计试验资料的统计分析方法	229
二、 2×3 交叉设计试验资料的统计分析方法	230
三、交叉设计的优缺点及其注意事项	232
*第八节 正交设计	232
一、正交设计原理与方法	233
二、正交设计试验资料的方差分析	237
第九节 调查设计	243
第十节 抽样调查样本容量和控制试验重复数的确定	245
一、抽样调查样本容量的确定	246
二、控制试验重复数的确定	247
习题	249
附录一 常用生物统计方法的 SAS 程序	252
附录二 常用生物统计方法的 R 脚本	276
附录三 课程实验	284
附录四 常用数理统计表	290
汉英名词对照表	312
主要参考文献	315

第一章

绪 论

第一节 生物统计在动物科学研究中的作用

为了提高动物生产的水平和效益,推动动物科学发展,常常要进行科学研究。例如,畜禽、水产品种资源研究,畜禽、水产新品种选育,新的饲养、管理技术研究,某种畜禽疾病在某地区发病情况研究,兽药疗效研究等,这些研究都离不开试验或调查。进行试验或调查,首先必须解决的问题是如何合理地进行试验或调查设计。进行试验或调查中常常碰见这样的情况,由于试验或调查设计不合理,以至于无法从所获得的资料中提取有用的信息,造成人力、物力和时间的浪费。若试验或调查设计合理,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,从中提取有用的信息,达到试验或调查的预期目的,收到事半功倍之效。

通过试验或调查收集到的资料常常表现出一定程度的变异。例如,测量 100 头猪的日增重所得到的 100 个观测值,彼此不完全相同,表现出一定程度的变异;又如,测量 200 头黄牛的体高得到的 200 个观测值,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,使得猪的日增重或黄牛的体高的观测值表现出变异。另外,还有许多内在和外在的影响猪的日增重或黄牛体高的因素还未被人们所认识。由于这些人们已了解的因素和尚未认识因而无法控制的因素的影响,使得通过试验或调查收集到的资料普遍具有变异性。所以进行试验或调查还必须解决的第二个问题是,如何科学地整理、分析所收集到的具有变异的资料,揭示出隐藏在内部的规律性。合理地进行试验或调查设计,科学地整理、分析所收集到资料是生物统计(biometrics)的基本任务。

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。生物统计有助于有效进行试验或调查,在动物科学研究中的作用十分重要。

一、提供试验或调查设计方法

试验设计分为广义的试验设计与狭义的试验设计。广义的试验设计是指试验研究课题设计,也就是指试验计划的拟订,包含课题名称与试验目的,研究依据、内容及预期效果,试验方案和试验设计方法,试验动物的要求与数量,设置预试期,试验记录的试验指标与要求,试验资料的统计分析方法与效益估算,已具备的条件和研究进度安排,试验所需要的条件,研究人员分类,试验的时间、地点和工作人员,成果鉴定、撰写学术论文等内容。狭义的试验设计是指试验单位的选取、重