



高等学校规划教材 | 畜牧兽医类

生物 试验设计

(畜牧版)

主编
●
谢和芳

SHENGWU

SHIYAN SHEJI XUMU BAN



案例版



西南师范大学出版社
国家一级出版社 全国百佳图书出版单位



高等学校规划教材 | 畜牧兽医类

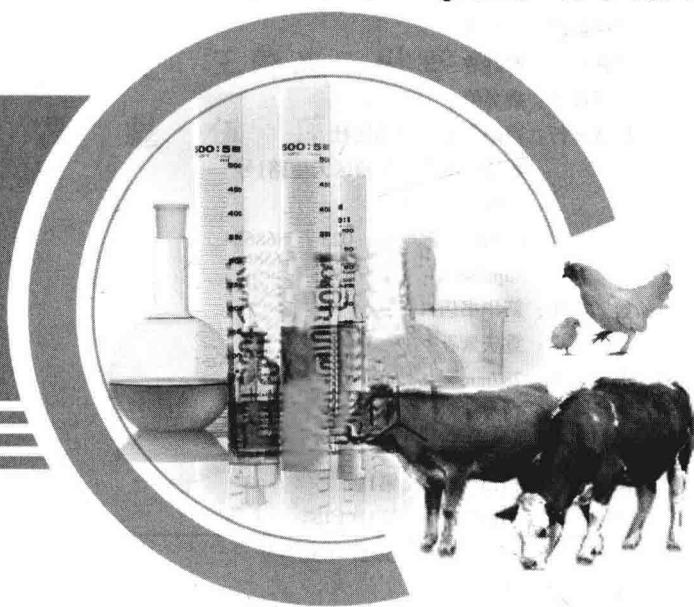
生物 试验设计

(畜牧版)

主编
●
谢和芳

SHENGWU

SHIYAN SHEJI XUMU BAN



西南师范大学出版社
国家一级出版社 全国百佳图书出版单位

图书在版编目 (CIP) 数据

生物试验设计: 畜牧版 / 谢和芳主编. —重庆:
西南师范大学出版社, 2013.6
ISBN 978-7-5621-6303-9

I. ①生… II. ①谢… III. ①生物学—试验设计—高
等学校—教材 IV. ①Q-33

中国版本图书馆CIP数据核字 (2013) 第139472号

生物试验设计 (畜牧版)

SHENGWU SHIYAN SHEJI XUMU BAN

主 编 谢和芳

副主编 朱汉春

责任编辑: 杜珍辉

责任校对: 廖红香 汪 玲

封面设计: 魏显锋

出版发行: 西南师范大学出版社

地址: 重庆市北碚区天生路1号

邮编: 400715

市场营销部电话: 023-68868624

<http://www.xscbs.com>

经 销: 新华书店

印 刷: 重庆紫石东南印务有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 18.5

字 数: 400千字

版 次: 2013年8月 第1版

印 次: 2013年8月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-5621-6303-9

定 价: 35.00元

衷心感谢被收入本书的图文资料的原作者, 由于条件限制, 暂时无法和部分原作者取得联系。恳请这些原作者与我们联系, 以便付酬并奉送样书。

若有印装质量问题, 请联系出版社调换。

高等学校规划教材·畜牧兽医类

总编委会/ ZONG BIAN WEI HUI

总主编：王永才 刘 娟

编 委(排名不分先后)：

刘 娟	黄庆洲	伍 莉	朱兆荣
罗献梅	甘 玲	谢和芳	刘安芳
兰云贤	曾 兵	杨远新	黄琳凯
陈 超	王鲜忠	帅学宏	黎德斌
段 彪	伍 莲	陈红伟	

《生物试验设计(畜牧版)》

编委会/ BIAN WEI HUI

主 编：谢和芳

副主编：朱汉春

编 者：袁树楷

罗宗刚

前 言

试验设计是研究合理地收集必要而有代表性资料并进行有效统计分析的一门学科。本书是高等农业院校动物生产类各本科专业的试验设计课程教材。本教材包括绪论、完全析因设计、完全随机设计、随机单位组设计、拉丁方设计、交叉设计、正交设计、均匀设计、调查设计、样本含量估计和实训指导共十一章,第一至五章、第九至十一章由谢和芳编写,第八章由朱汉春编写,第六章和第七章由袁树楷和罗宗刚编写。本教材注重试验设计学科的科学性、系统性和应用性,从本学科涉及的基本概念开始,由浅入深地阐述三种析因试验设计、四种随机试验设计和五种调查设计的基本理论知识和基本方法,对在生产实际中如何应用这些试验设计方法做了详细介绍,同时,列出这些方法的试验结果的统计分析方法,并配有案例分析。另外,专门一章内容介绍 Excel 软件在试验设计中的应用。除作为本科生教材外,本书还可作为研究生和广大科技工作者进行科学研究的参考书。

由于编者水平有限,难免有错误或不恰当之处,欢迎读者批评指正。

编 者

2013 年 6 月

目 录

第一章 绪论

第一节 生物试验设计在畜牧研究中的作用	1
第二节 试验设计的常用术语	4
第三节 试验设计的主要内容	8
第四节 试验设计的基本原则	11
第五节 试验设计的发展概况	14

第二章 完全析因设计

第一节 完全析因设计概述	17
第二节 两因素完全析因设计	20
第三节 三因素完全析因设计	31

第三章 完全随机设计

第一节 完全随机设计概述	51
第二节 两个处理完全随机设计	52
第三节 多个处理完全随机设计	65

第四章 随机单位组设计

第一节 随机单位组设计概述	83
第二节 两个处理随机单位组设计	85
第三节 多个处理随机单位组设计	90

第五章 拉丁方设计

第一节 拉丁方设计概述	117
第二节 拉丁方设计方法	119
第三节 拉丁方试验结果的统计分析方法	122

第六章 交叉设计

第一节 交叉设计概述	141
第二节 2×2 交叉设计	143

第二节 2×3 交叉设计	149
--------------------	-----

第七章 正交设计

第一节 正交设计概述	157
第二节 正交设计方法	161
第三节 正交试验结果的统计分析	167

第八章 均匀试验设计

第一节 均匀试验设计概述	187
第二节 均匀试验设计方法	191
第三节 均匀设计试验结果的分析	194

第九章 调查设计

第一节 调查设计概述	199
第二节 抽样调查方法	202
第三节 调查结果的统计分析方法	205

第十章 样本含量的确定

第一节 样本含量确定概述	219
第二节 参数估计的样本含量确定	219
第三节 平均数比较的样本含量确定	222
第四节 率比较的样本含量确定	226

第十一章 实训指导

第一节 运用 Excel 软件分析完全随机试验资料和交叉试验资料	229
第二节 运用 Excel 软件分析随机单位组试验资料	240
第三节 运用 Excel 软件分析拉丁方试验资料	245
第四节 运用 Excel 软件分析正交试验资料	251
第五节 运用 Excel 软件分析均匀试验资料	263

附表

参考文献

第一章 绪论

【本章导读】试验设计包括制定科学合理的试验方案,有效控制试验误差,选择合适的统计分析方法等内容。本章介绍试验因素、水平、处理、试验方案、试验单位、重复数、试验指标、试验误差、随机、局部控制等基本概念,以及试验设计的主要内容和试验设计的基本原则。

第一节 生物试验设计在畜牧研究中的作用

一、生物试验设计的基本概念

试验(Experiment)是一个或一系列有目的地改变流程或系统的输入变量以观察识别输出应变量随之改变的实验。

试验设计(Design of Experiments)是在进行试验之前,根据专业技术知识和研究项目,运用数理统计的原理和方法,对整个试验进行合理的安排,经济科学地制定试验方案,以收集试验数据进行有效的统计分析。简而言之,试验设计主要解决合理地收集必要而有代表性资料并进行有效统计分析的问题。

生物试验设计(Design of Experiments for Biology)是试验设计在生物及其相关科学中的应用。

二、畜牧研究概述

畜牧研究(Livestock Research)涉及畜牧和兽医的生产、管理和科学研究。进行畜牧试验(Livestock Experiment)通常以动物作为研究对象,因而常将畜牧试验称为动物试验(Animal Experiment)。畜牧试验是一个或一系列有目的地改变动物的品种、饲料、饲养管理条件、环境条件或疾病防治措施等,观察动物的生长发育、生产性能、繁殖性能和生理生化指标等变化情况的实验。

(一) 畜牧试验的任务

畜牧试验的主要任务在于研究、揭示和掌握动物生长发育规律及这些规律与饲养管理、环境条件等的关系。通过试验,研究畜禽品种资源,进行新品种的选育、畜禽引种的品种比较和适应性的研究,研制开发新饲料和饲料添加剂,探索养殖新技术和新模式,创新疾病防治技术,降低饲料和能源消耗,减少环境污染,做到优质、高产、低消耗、低排放等,通过试验找出其中的规律,并将这些规律应用到生产实践中去,以解决畜牧业生产中存在的问题,进一步提高动物产品的质量和数量,取得更大的经济效益和社会效益,从而推动畜牧业的发展。



(二) 畜牧试验的特点

在畜牧试验中,除小部分可在严格控制的试验条件下进行外,大部分试验都与外界环境接触或要在外界环境中进行,试验的对象是遗传来源不同、生长在不同时期、不同环境中的动物。因此,畜牧试验结果除有试验处理的作用外,还要受到许多其他因素的干扰和制约,这些因素对试验结果可以产生较大的影响。所以,我们要在充分认识这些干扰因素的情况下,对其进行合理、有效的控制,以保证试验结果的正确性。总体来看,畜牧试验主要有以下三个的特点。

1. 干扰因素多 进行畜牧试验有很多非试验因素干扰试验结果。首先是动物本身存在差异,这种差异是试验中误差的重要来源。例如,在同一饲养试验中,为使供试动物均匀一致,要选择到遗传来源一致、同年龄、同体重、同性别的动物进行试验是比较困难的;其次,自然环境如温度、湿度、光照、通风等存在差异,不能完全控制一致;第三,饲养管理条件存在差异,如在试验过程中的管理方法、饲养技术、畜舍笼位的安排等不一致;第四,试验人员操作技术上的差异,如对试验动物的性状、指标进行测量时,时间、人员和仪器等不完全一致。

2. 具有复杂性 动物都有自己的生长发育规律和遗传特性,并与环境、饲养管理等条件密切相关,而且这些因素之间又相互影响,相互制约,共同作用于供试对象。所以在试验中,人们不可能做到对环境条件等一一加以控制,当然也就不易精确地分析出各个因素的单独作用。因此,在多变的各种条件下,不能只依据少数的或短期的试验,而必须经过不同条件下的一系列试验,才能获得比较正确的结果。

3. 试验周期长 动物完成一个生活世代的时间较长,特别是大动物、单胎动物、具有明显季节性繁殖的动物更为突出。因此,有的一年内不能进行多次试验,例如动物遗传育种试验,有的需用几年的时间才能完成整个试验。应尽量克服周期长、试验年度间差异的影响,以获得正确的结论。

(三) 畜牧试验的基本要求

由于畜牧试验具有上述特点,为了保证试验的质量,在试验中应尽可能地控制和排除非试验因素的干扰,合理地进行试验设计、准确地进行试验,从而提高试验的可靠程度,使试验结果在生产实际中真正发挥作用。为此,畜牧试验应具有代表性、正确性、重演性等基本要求。

1. 代表性 畜牧试验的代表性包括生物学和环境条件两个方面的代表性。生物学的代表性,是指作为主要研究对象的动物品种、个体的代表性,并要有足够的数量。例如,进行品种的比较试验时,所选择的个体必须能够代表该品种,且所选个体应保持较高均匀度,在保证试验结果具有一定可靠性的条件下,确定适当的动物数量。环境条件的代表性是指代表将来计划推广此项试验结果的地区的自然条件 and 生产条件,如气候、饲料、饲养管理水平及设备。代表性决定了试验结果的可利用性,如果一个试验没有充分的代表性,再好的试验结果也不能推广和应用,就失去了实用价值。

2. 正确性 畜牧试验的正确性包括试验的准确性(Accuracy)和试验的精确性(Precision)。准确性也叫准确度,指试验中某一试验指标或性状的观测值与其真值接近的程度。精确性也叫精确度,指试验中同一试验指标或性状的重观测值彼此接近的程度。

在进行试验的过程中,应严格执行各项试验要求,特别要注意试验条件的一致性,即除所研究的各个处理外,供试畜禽的初始条件如品种、性别、年龄、健康状况、饲养条件、管理措施等应尽量控制一致,将非试验因素的干扰控制在最低水平,以避免系统误差,降低试验误差,提高试验的正确性。

3. 重演性 畜牧试验的重演性(Repetition)是指在相同条件下,重复进行同一试验,能够获得与原试验相类似的结果,即试验结果必须经受得起再试验的检验。试验的目的在于能在生产实践中推广试验结果,如果一个在试验中表现好的结果在实际生产中却表现不出来,那么,试验就失去了意义。由于试验受供试动物个体之间差异和复杂的环境条件等因素影响,不同地区或不同时间进行的相同试验,结果往往不同;即使在相同条件下的试验,结果也有一定出入。因此,为了保证试验结果的重演性,必须认真选择供试动物,严格把握试验过程中的各个环节,在有条件的情况下,进行多年或多点试验,这样所获得的试验结果才具有较好的重演性。

三、生物试验设计在畜牧研究中的作用

畜牧研究的题目有大有小,内容有多有少,如“我国家养动物的营养需要研究”,题目就很大,内容很多,涉及全国范围内的家养动物,动物处在不同生长发育阶段和不同生理时期营养需要又不同,而且包括各类营养物质的需要都要进行研究。而“某养殖场0~2周龄肉鸡的赖氨酸需要研究”,虽然也是动物的营养需要研究,但题目小,内容少。为了使得畜牧研究工作顺利开展,获得可靠的结论,不管研究内容的多少,都需要在试验前进行科学合理的试验设计。合理的试验设计能控制和降低试验误差,提高试验的精确性和准确性,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的数据。

生物试验设计在畜牧研究中的应用表现在两个方面,一是如何安排畜牧试验,即制定合理的畜牧试验方案;二是如何分析试验的结果,即有效地分析试验获得的数据资料。一项科学合理的试验安排应能做到试验次数尽可能地少,试验误差能控制为最小,试验数据便于收集和处理分析,从而得到满意的试验结论。

(一) 为合理安排畜牧试验提供科学方法

在畜牧和兽医生产实际和科研工作中,通常需要通过试验研究使动物养殖达到优质、高产、低消耗、低排放。畜牧试验要花费大量的人力、物力和时间,如进行5种肉牛饲料的对比试验,如果每种饲料只饲喂1头肉牛就需要5头肉牛来进行试验,根据生物统计学,要分析这5种肉牛饲料的差异,还要求有一定的重复数,如果重复数为3,则完成该试验工作任务至少需要15头肉牛,可见其花费不少。还有,畜牧试验受到很多非试验因素的影响。如这个肉牛的饲养试验,即使15头肉牛的品种、年龄、体重都相同,还会由于它们的个体差异影响到这5种饲料的对比试验结果,而实际上,牛为单胎动物,怀孕期又长达10个月,要在一个时间点选择到年龄、体重等完全一致的牛来做试验有一定难度,那么,如果用作试验的肉牛的年龄、体重有差异,或者如果不能够在一个养殖场内同时选到15头条件基本一致的牛,而需要在几个养殖场选出,像这类动物的初始条件有差异的畜牧试验,生物试验设计中的局部控制方法就可以解决这个问题,以控制和减少试验误差。另外,畜牧试验有时需要研究多个因素对试验结果的影响,如研究钙、磷、铜、锌共同作用对仔猪生长发育的影响,



每种元素各设三种不同的添加量,那么,就有 $3^4 = 81$ 个处理,就需要 81 个组的仔猪进行试验,试验次数太多,要求的试验动物也太多,要控制 81 个处理的非试验因素一致会有一定难度,采用正交试验设计方法就可以不安排这么多次试验,从而少用试验动物完成这个试验工作任务。

在进行畜牧试验时,如果试验设计合理,试验方案好,注意应用控制和降低试验误差的技术方法,就能够以较少的试验次数、较短的试验周期、较低的试验费用,收集到必要而有代表性的资料,从中获得可靠的结论;如果不进行合理的试验设计,试验方案不好,试验误差会增大,就可能增加试验次数,延长试验周期,以至于无法从所获得的数据中提取有用的信息,造成人力、物力和时间的浪费。

(二) 为有效收集和分析畜牧试验数据提供科学方法

进行畜牧试验,通过测定公式动物的各项试验指标获得数据资料,数据资料有数量性状资料、质量性状资料和等级资料三类,即定量资料、定性资料和半定量资料。数量性状资料又包括计量资料和计数资料,对质量性状分类统计每类次数、数量性状资料分组统计每组次数得到的资料统称为次数资料。不同类别的资料需要应用不同的统计分析方法,数量性状资料的统计分析方法主要有平均数和变异数的计算、 t 检验、方差分析和相关回归分析等;次数资料主要用百分率的计算和 χ^2 检验进行统计分析。这几个基本的统计分析方法在生物统计学中已有介绍,但应用试验设计的原理和方法安排的畜牧试验,如随机单位组试验、拉丁方试验、正交试验、均匀试验等,其数据资料的统计分析方法,在一般的生物统计学中并未系统介绍。

第二节 试验设计的常用术语

一、试验误差

试验误差(Experimental Error)是指某一试验指标的测定值与其真值的差异。在畜牧试验中,试验指标除受试验因素影响外,还受到许多其他非试验因素的干扰,使试验处理的效应不能真实地反映出来,从而产生试验误差。试验中出现的误差分为随机误差(Random Error)与系统误差(Systematic Error)两类。随机误差是由于许多无法控制的内在和外在的偶然因素如试验动物的初始条件、饲养条件、管理措施等尽管在试验中力求一致但不可能绝对一致所造成的。随机误差带有偶然性质,在试验中,即使十分小心也难以消除。随机误差影响试验的精确性。生物统计上的试验误差均指随机误差。这种误差越小,试验的精确性越高。系统误差也叫片面误差(Lopsided Error),这是由于试验动物的初始条件如年龄、初始体重、性别、健康状况等相差较大,饲料种类、品质、数量、饲养条件未控制相同,测量的仪器不准、标准试剂未经校正,以及观测、记载、抄录、计算中的错误所引起的。系统误差影响试验的准确性。

虽然畜牧试验的试验误差不可避免,但是,一般说来,只要进行合理的试验设计,试验工作做得精细,可以避免系统误差,并可以尽量减少随机误差,从而降低试验误差,提高试验的准确性和精确性。

二、试验指标

试验指标(Experimental Index)指在试验中具体测定的性状或观测的项目,简称指标。畜牧试验常用的试验指标有增重、采食量、产仔数、产奶量、产蛋量、产肉量、存活率、发病率、治疗有效率、血液生理生化指标等。

试验指标是衡量试验结果的标志。有的试验指标,只要将动物分别饲养,可以从每个试验单位甚至每一头动物直接量化得到,如体高、体长、胸围、体重、日增重、采食量、产仔数、产奶量、产蛋量、产肉量、瘦肉量、血红蛋白量、呼吸次数、白血球数等,每一头动物通过观测都可得到一个具体的数值,通过观测试验指标获得的具体数值称为观测值(Observed Value),如一头牛的体高为139.6cm,一只鹅的日增重为51.3g,一头母猪的产仔数为12头。像这类能够以量测或计数的方式获得取值的指标称为数量性状指标(Index of Quantitative Character),也称定量指标。数量性状指标包括计量指标和计数指标,可用度、量、衡等计量工具直接测定的指标称为计量指标,计量指标的观测值通常有小数,如一头动物的体重为138.6kg。可用计数方式直接测定的指标称为计数指标,计数指标的观测值只能取整数,如一只母鸡的年产蛋量为230枚。通过观测数量性状指标得到的资料称为数量性状资料(Data of Quantitative Character),观测计量指标获得的资料称为计量资料,观测计数指标获得的资料称为计数资料。然而,有的试验指标即使将动物分别饲养,也不能将每一头动物直接量化得到指标值,只能观察到的用文字描述该指标的状态,如动物存活率、发病率、治疗有效率、腹泻率、阳性率等指标,对于每一头动物进行观测时,可以观察到,用存活或死亡、发病或不发病、有效或无效、腹泻或不腹泻、阳性或阴性等这类文字描述该头动物的状态。像这类能观察到用文字描述,而不能直接量测或计数的指标称为质量性状指标(Index of Qualitative Character),也称为定性指标。对于质量性状指标,一般通过分类别统计每个类别的动物数或试验单位数获得数据资料,如一个试验组的治疗有效动物数为53头,无效动物数为7头,就是将疗效这个质量性状分为有效和无效两个类别,统计这两个类别的动物数获得的。将质量性状分类别统计各类别的动物数获得的资料称为次数资料(Frequency Data),而将质量性状分类别统计各类别的出现的百分率得到的资料称为百分率资料,显然,百分率资料需从次数资料计算获得。

有的试验指标如用无反应(-)、反应弱(+)、反应较强(++)、反应强(+++)、反应很强(++++)五个等级表示凝集反应强度,用“无效”、“好转”、“显效”和“痊愈”四个等级表示药物的疗效,通过观察将该指标分等级用文字描述指标的状态,这样的指标称为等级指标或半定量指标(Index of Ranked or Semi-quantitative Character)。这类指标既有质量性状指标的特点,又有程度或量即数量性状的不同。通常将等级指标分等级后统计各等级的试验单位数或动物数获得等级资料或半定量资料(Ranked or Semi-quantitative Data),用统计分析方法处理这类资料时,既可以按照次数资料的统计分析方法进行分析,也可以参照数量性状资料的统计分析方法进行分析。一般情况下,可以将等级指标按质量性状指标对待,所以,本教材后续内容中,仅涉及数量性状指标和质量性状指标。

对于畜牧试验,每一次试验具体测定哪些试验指标,需要根据试验的目的不同而进行选择。试验指标最好选择数量性状指标即定量指标。如果要求进行有效的统计分析,则测定数量性状指标要求的试验重复数比测定质量性状指标要求的重复数少。多数情况下,需



要将多个数量性状指标结合甚至数量性状指标与质量性状指标结合应用。

三、试验因素与水平

(一) 试验因素

试验因素(Experimental Factor)是指试验所研究的影响试验指标的因素,简称因素或因子。除试验因素外,其他影响试验指标的因素统称为非试验因素。根据畜牧试验的特点我们已经知道,畜牧试验很复杂,影响畜牧试验结果即试验指标的因素很多,如研究如何提高猪的日增重时,饲料的配方、饲料添加剂的种类、猪的品种、养殖模式、环境条件等都会影响猪的日增重,但是,不一定每次试验都要考察这么多因素。具体选择哪个或哪些作为试验因素来考虑呢?这就要根据试验的目的进行选择。如试验的目的是希望开发新的添加剂来提高猪的日增重,则可选择饲料添加剂的种类这个因素作为试验因素,那么,在试验中,就只能人为改变这个饲料添加剂的种类因素,即由不同种类的饲料添加剂组成不同的处理,其他的影响因素如基础日粮配方、猪的品种、养殖模式、环境条件等,不是本次试验要考察的因素,属于非试验因素,则需要在各处理组尽量保持一致。由于这个试验考察的因素只有饲料添加剂种类一个试验因素,像这样只考察一个因素对试验指标影响的试验称为单因素试验(Single Factor Experiment)。同时考察两个或两个以上因素共同作用对试验指标影响的试验称为多因素试验(Multiple Factor Experiment)。试验因素常用大写字母A、B、C...表示。不要错误地认为,一次试验只要考察两个或两个以上因素对试验指标的影响就属于多因素试验,要看具体的每个处理是否考察它们共同作用对试验指标的影响。如为了开发中草药作为饲料添加剂,希望考察板蓝根、穿心莲、金银花是否促进动物生长,减少饲料消耗。板蓝根、穿心莲和金银花各设三种不同的添加量。除了希望考察的这三种中草药不同外,其余的如动物品种、年龄、体重体况、饲养管理条件等等这些都属于非试验因素,应该尽量保持一致。如果设计的试验处理仅9个,分别为三种板蓝根添加量、三种穿心莲添加量、三种金银花添加量,那么,这是进行的单因素试验,因为没有同时考察这三种中草药共同作用影响试验指标的情况。如果将这三种中草药按不同添加量搭配在一起,配合制成不同的中草药复方,就属于三因素试验,其中的每种中草药复方都同时考察板蓝根、穿心莲、金银花共同作用影响试验指标的情况。

(二) 水平

水平(Level)是指因素内部人为分的若干质量类别或数量等级。如不同饲料、不同动物品种、不同药物等即为质量类别,不同蛋白质水平、不同能量水平、不同药物剂量等即为数量等级。为了研究因子对试验指标的影响,需要用到因子的两个或更多的类别或取值。如进行奶牛品种比较试验,选择了3个品种奶牛进行比较,那么,奶牛品种为试验因素,这是单因素试验,这3个品种是奶牛品种内人为分的3个不同类别,就构成奶牛品种比较试验这个单因素试验的3个水平。如果研究不同能量蛋白质饲料对动物生长发育的影响,目的是找出饲料中能量与蛋白质的合适搭配,如果选择11.0 MJ/kg、11.5 MJ/kg、12.0 MJ/kg、12.5 MJ/kg 4个不同的能量值,18%、20%、22% 3个不同的蛋白质比例,4个不同的能量值和3个不同的蛋白质比例相互搭配配制成 $4 \times 3 = 12$ 种饲料进行饲养试验,这个试验考察能量和蛋白质这两个因素影响试验指标的情况,这是两因素试验,11.0 MJ/kg、

11.5 MJ/kg、12.0 MJ/kg、12.5 MJ/kg 4 个不同的能量值就是能量这一试验因素的 4 个水平,18%、20%、22% 3 个不同的蛋白质比例就是蛋白质这一试验因素的 3 个水平。水平常用代表该因素的字母加添下标 1、2、…来表示。如能量的四个水平可用 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 表示,蛋白质的三个水平可用 B_1 、 B_2 、 B_3 表示。

四、试验单位

试验单位(Experimental Unit)指接受试验处理的独立的载体,也称为试验单元,是实施处理的最小单位。在畜牧、兽医、水产试验中,可以是一只家禽、一头家畜、一只小白鼠、一尾鱼等一头动物为一个试验单位,也可以是数只家禽、数头家畜、数只小白鼠、数尾鱼等一群动物为一个试验单位。试验单位往往也是观测试验指标数据的最小单位,对于计量指标和计数指标,一个试验单位可以且仅可以获得一个指标值(观测值)。对于质量指标,一个试验单位可以获得分类计数的一次计数。

在确定试验单位时一定要分清试验单位的数量与动物的数量,要清楚多少头动物作为实施处理和观测试验指标数据的最小单位,并不是有多少头动物就有多少个试验单位。如进行五种断奶仔猪料的比较试验,将 150 头 20 kg 左右、体况良好的断奶仔猪随机分成五组,每组 30 头,分在三个圈中,每圈 10 头进行饲养试验。这是个单因素试验,考察的试验因素为断奶仔猪料,五种断奶仔猪料即为五个水平。这里将 10 头仔猪在一个圈中饲养,每 10 头仔猪统一饲喂一种断奶仔猪料,每圈的 10 头仔猪不仅是实施处理的最小单位,也是观测试验指标数据如增重、饲料消耗等的最小单位,也就是说,10 头仔猪为 1 个试验单位,那么,这里每种饲料有 3 个试验单位,试验共有 15 个试验单位,而不是 150 个试验单位。

五、处理

处理(Treatment)是指试验要考察的实施在试验单位上的影响试验指标的条件。单因素试验的一个水平就是一个处理,单因素试验有几个水平就有几个处理。多因素试验的一个水平组合就是一个处理。水平组合指两个或两个以上因素试验中,一个因素的一个水平与另一个或另几个因素的一个水平的相互搭配组合。如上述的不同能量蛋白质饲料对动物生长发育的影响,四个不同的能量值和三个不同的蛋白质取值可以组成 A_1B_1 、 A_1B_2 、 A_1B_3 、 A_2B_1 、 A_2B_2 、 A_2B_3 、 A_3B_1 、 A_3B_2 、 A_3B_3 、 A_4B_1 、 A_4B_2 、 A_4B_3 共 12 个不同的水平组合,其中的 A_2B_3 水平组合就是 A 因素的 2 水平和 B 因素的 3 水平相互搭配组合而成的,这 12 个不同的水平组合就是这个两因素试验的 12 个不同的处理。如进行三因素试验, A 因素有 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 四个水平、B 因素有 B_1 、 B_2 、 B_3 三个水平、C 因素有 C_1 、 C_2 、 C_3 三个水平,则这个三因素试验可以组成 $4 \times 3 \times 3 = 36$ 个三因素的水平组合,其中的 $A_3B_2C_1$ 水平组合就是 A 因素的 3 水平、B 因素的 2 水平、C 因素的 1 水平相互搭配组合而成的一个处理,这 36 个不同的水平组合就是这个三因素试验的 36 个不同的处理。



第三节 试验设计的主要内容

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。内容不仅涉及技术工作方面的,而且还有组织工作方面的。主要包括课题名称,试验目的,研究依据、内容及预期达到的效果,试验方案,试验单位的选取、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。

狭义的试验设计指实施试验处理的试验方案计划的拟定及统计分析方法的确定。主要包括试验方案的设计、试验单位的选取与预试、重复数目的确定、试验单位的分组及试验结果统计分析方法的选择等内容。本教材的试验设计指狭义的试验设计。

一、试验方案的设计

(一) 试验方案的基本概念

试验方案(Experimental Scheme)是指根据试验目的要求而拟定的进行比较的一组试验处理的总称。如研究三种不同调制方法对青饲料营养价值的影响,则选择的三种青饲料调制方法就是一组用于比较的试验处理,这个试验的试验方案就是这三种青饲料调制方法。

(二) 试验方案的种类

按照试验因素的多少,可将试验方案分为单因素试验方案和多因素试验方案。

1. 单因素试验方案 单因素试验只比较一个试验因素的不同水平对试验指标的影响,单因素试验的所有水平构成单因素试验方案。这是最基本、最简单的试验方案。例如在猪基础日粮中添加0%、0.5%、1.0%、1.5%四种不同剂量的中草药添加剂,进行饲养试验。这里考察中草药添加剂一个试验因素对试验指标的影响,四种不同剂量就是这个单因素试验的四个水平,前面已经提及,单因素试验一个水平为一个处理,这四个水平就是这个单因素试验用于比较的一组处理,这四种不同剂量的中草药添加剂就构成了这个单因素试验的试验方案。

2. 多因素试验方案 多因素试验同时考察两个或两个以上试验因素共同作用对试验指标的影响,我们已经知道,多因素试验的一个水平组合就是一个处理,那么,多因素试验的全部或部分水平组合就构成多因素试验方案。

根据是否包括全部的水平组合,多因素试验方案分为完全方案和不完全方案两类。

(1) 完全方案(Complete Scheme)。多因素的全部水平组合构成多因素的完全方案。例如两种营养水平饲料配方在四种不同环境温度下对山羊的影响试验。这是两因素试验,用 A 因素表示营养水平, B 因素表示环境温度。两种营养水平饲料配方,说明 A 因素有2个水平,分别表示为 A_1 、 A_2 ,四种不同环境温度,说明 B 因素有4个水平,分别表示为 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 。那么, A 的各水平和 B 的各水平相互搭配形成的水平组合为 A_1B_1 、 A_1B_2 、 A_1B_3 、 A_1B_4 、 A_2B_1 、 A_2B_2 、 A_2B_3 、 A_2B_4 ,共有 $2 \times 4 = 8$ 个水平组合,即8个处理。这8个水平组合就构成了这个两因素的完全试验方案。根据完全试验方案进行的试验称为全面试验。全面试



验既能考察试验因素对试验指标的影响,也能考察因素间的交互作用,并能选出最优水平组合,从而能充分揭示事物的内部规律。多因素全面试验的效率高于多个单因素试验的效率。全面试验宜在因素个数和水平数都较少时应用。

(2) 不完全方案(Incomplete Scheme)。不完全方案是根据试验目的,按照试验设计的原理和方法从多因素的全部水平组合中选出一部分水平组合。

当试验因素和水平数较多时,组成的水平组合就会较多,进行全面试验的处理也就较多。如同时研究两种营养水平饲料配方在四种不同环境温度、三种不同湿度和三段不同光照时间下对蛋鸡生产性能的影响,试验因素为营养水平、温度、湿度和光照时间四个,分别有2、4、3、3个水平,这四个因素的不同水平相互搭配共有 $2 \times 4 \times 3 \times 3 = 72$ 个水平组合,这72个水平组合构成这个四因素试验的完全方案。由于处理数太多,全面试验的人力、物力、财力、场地等可能难以承受,且试验误差也不易控制,试验的效果难以保证。这时,可以从多因素的全部处理中选出一部分处理进行试验。

不完全方案是指多因素试验中,将试验因素的某些水平搭配在一起获得少数几个或更多水平组合组成的试验方案。这种试验方案的主要目的在于探讨几个试验因素的综合作用,而不在于考察其中的单个试验因素和因素间交互作用对试验指标的影响。根据不完全方案进行的试验称为非全面试验,也称部分试验。

(三) 试验方案的设计方法

对试验方案进行设计是指列出进行试验的所有处理,也就是试验处理的确定,主要包括试验因素和水平的确定,以及水平组合的选择等。

1. 单因素试验方案的设计 单因素试验只考察一个试验因素,所有处理是这一因素的不同数量等级如不同重量、不同比例或不同质量类别如不同饲料、不同药物。设计比较简单,仅需要确定试验因素和水平。对于试验因素的确定,进行单因素试验,需要选择对试验指标影响的最主要的一个因素,如果需要考察几个因素影响试验指标的情况,就不宜进行单因素试验。

2. 多因素试验方案的设计 进行多因素试验方案的设计,首先应确定考察几个试验因素,一个试验中研究的因素不宜过多,否则处理数太多,试验过于庞大,试验指标会受到更多非试验因素的干扰,难以控制系统误差。如果能够用更少的因素进行试验达到试验研究的目的,就不考虑更多因素的试验方案。与单因素一样,需要确定每个因素的水平,对于多因素试验,水平数目更要慎重,因为只要其中一个因素的水平数目增加,处理数会成倍增加。多因素试验方案的设计除了因素水平的确定外,还需要确定水平组合即处理。常用完全析因设计(Complete Factorial Design)、正交设计(Orthogonal Experimental Design)和均匀设计(Uniform Experimental Design)对多因素的水平组合进行选择。完全析因设计简称析因设计(Factorial Design),是将多因素试验中的每个因素的所有水平相互搭配组成水平组合,列出完全方案,也称完全因子设计或因子设计,常用于因素和水平个数都较少的多因素试验。正交设计是在多因素试验的全部水平组合中,根据正交设计原理方法选出的有代表性的部分水平组合,列出不完全方案。常用于因素数较多、水平数较少的多因素试验。均匀设计是在多因素试验的全部水平组合中,根据均匀设计原理方法选出的有代表性的部分水平组合,列出不完全方案。常用于水平数较多的多因素试验。完全析因设计法、正交设计法、均匀设计法分别详见第二章、第七章和第八章。