



普通高等教育食品类专业“十三五”规划教材
高等学校食品类国家特色专业建设教材

食品试验设计与数据处理 (第二版)

SHIPIN SHIYAN SHEJI YU SHUJU CHULI



张仲欣 杜双奎◎主编

郑州大学出版社



普通高等教育食品类专业“十三五”规划教材
高等学校食品类国家特色专业建设教材

食品试验设计与数据处理 (第二版)

SHIPIN SHIYAN SHEJI YU SHUJU CHULI



张仲欣 杜双奎◎主编

郑州大学出版社

郑州

内容提要

本书系统地介绍了常用的食品试验设计方法和数据处理方法,并介绍了常用的5种数据处理软件 Excel、SPSS、DPS、Design-Expert 和 SAS 进行数据处理的操作方法。全书共分为10章:第1章绪论、第2章试验设计与数据处理基础、第3章统计假设检验、第4章因素试验与方差分析、第5章试验数据的回归分析、第6章正交试验及其数据处理、第7章均匀试验设计、第8章回归试验设计、第9章混料试验设计、第10章数据处理软件的应用。本书可作为高等院校食品类专业本科生教材,也可作为其他相关专业和研究生的教材,同时还可供相关科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

食品试验设计与数据处理/张仲欣,杜双奎主编. —2版. —郑州:郑州大学出版社,2017.7

普通高等教育食品类专业“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5645-4587-1

I. ①食… II. ①张… ②杜… III. ①食品检验-试验设计-高等学校-教材②食品检验-数据处理-高等学校-教材 IV. ①TS207.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 142220 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路40号

出版人:张功员

全国新华书店经销

郑州市诚丰印刷有限公司印制

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:20

字数:486千字

版次:2017年7月第2版

邮政编码:450052

发行部电话:0371-66966070

印次:2017年7月第3次印刷

书号:ISBN 978-7-5645-4587-1

定价:39.00元

本书如有印装质量问题,由本社负责调换



Food

本书作者

主 编 张仲欣 杜双奎

副 主 编 曹文红 于慧春

编写人员 (按姓氏笔画排序)

于慧春	马国刚	王正荣
丛海花	杜 鹃	杜双奎
杨海花	张仲欣	曹文红
常雪妮		



Food

前言 (第一版)

本教材主要是依据教育部食品科学与工程专业的培养规范,结合当前该课程教学的实际需要编写的。食品试验设计与数据处理课程涉及知识面宽,特别是对高等数学相关知识的应用要求很高,教与学的难度都比较大,所以编写一本合适的教材就显得十分重要。为解决本书所涉及的知识较深奥和抽象、学习起来难度大,而撰写研究论文又必需的矛盾,本书的撰写以实用为主,对于那些较抽象但又必须介绍的内容,尽量用通俗的语言来表达,使其变得通俗易懂。

在教材体系方面,内容的安排循序渐进。先介绍食品试验设计与数据处理的基本概念,再介绍因素试验与方差分析、正交试验、回归分析等。最后介绍拓展内容,如均匀试验设计、回归试验设计、混料试验设计等。每一章均附有思考题和习题,便于自学和自测。

在编写形式方面,先介绍试验设计方法,再介绍数据处理方法,并介绍了用数据处理软件进行数据处理的操作方法。数据处理直接关系到论文撰写的质量,因此本书介绍了常用的4种数据处理软件:Excel、DPS、SAS和SPSS。重点介绍Excel和DPS应用,SAS和SPSS的应用作为拓展内容。

本书是各位作者在多年教学经验的基础上编写而成的,由河南科技大学张仲欣、西北农林科技大学杜双奎担任主编。本书共分9章,正文的后面有附录:吉林农业大学发展学院徐晶编写第1章;杜双奎编写第2章;广东海洋大学曹文红编写第3章;运城学院马国刚编写第4章;河南科技学院王彦杰编写第5章;张仲欣编写第6章;许昌学院郭卫芸编写第7章;沈阳农业大学常雪妮编写第8章;河南农业大学潘治利编写第9章;安阳工学院张光杰编写附录。全书由张仲欣统稿。

本书是高等院校食品类专业本科生教材,也可作为其他相关专业和研究生的教材。同时可供相关科研人员参考。

在本书编写过程中,得到了许多学校老师的热情关心与支持,在此向他们表示衷心的感谢。虽然编者对本书的编写尽力而为,但因水平所限,书中的不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2011年5月



Food

前言 (第二版)

食品试验设计与数据处理是食品科学与工程本科专业及其相近专业的一门重要专业基础课程,对培养学生的试验技能和提高科研论文的写作能力都十分重要。本教材主要依据教育部食品科学与工程专业的培养规范,并结合当前该课程教学的实际需要编写。

食品试验设计与数据处理课程涉及知识面宽,特别是对高等数学相关知识的应用要求很高,教与学的难度都比较大,所以编写一本合适的教材就显得十分重要。为解决本书所涉及的知识较深奥和抽象、学习起来难度大而撰写研究论文又必需的矛盾,本书的撰写以实用为主,对于那些较抽象但又必须介绍的内容,尽量用通俗的语言来表达。

在教材体系方面,内容的安排循序渐进。先介绍食品试验设计与数据处理的基本概念,再介绍因素试验与方差分析、正交试验、回归分析等,最后介绍拓展内容,如均匀试验设计、回归试验设计、混料试验设计等。

在编写形式方面,先介绍试验设计方法,再介绍数据处理方法,并介绍了用数据处理软件进行数据处理的操作方法。数据处理直接关系到论文撰写的质量,因此本书介绍了常用的5种数据处理软件。

本书根据第一版的使用情况由8所大学教师共同编写而成。具体编写分工如下:河南科技大学张仲欣编写第1章和附录。西北农林科技大学杜双奎编写第2章。广东海洋大学曹文红编写第3章。运城学院马国刚编写第4章。河南科技大学于慧春编写第5章。安阳工学院杜鹏编写第6章。西北农林科技大学杨海花编写第7章。沈阳农业大学常雪妮编写第8章。河南科技学院王正荣编写第9章。大连海洋大学丛海花编写第10章。全书由河南科技大学张仲欣统稿。

本书可作为高等院校食品类专业本科生教材,也可作为其他相关专业本科生和研究生的教材,同时可供相关科研人员参考。在本书编写过程中,得到了许多院校老师的热情关心与支持,在此向他们表示衷心的感谢。虽然编者对本书的编写尽力而为,但因水平所限,书中的不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2017年2月



Food

目录

第1章 绪论	1
1.1 食品试验设计与数据处理在食品研究中的作用	1
1.2 试验设计在食品研究中的必要性	3
1.3 数据处理是统计学的现代手段	4
1.4 本书的主要内容	4
第2章 试验设计与数据处理基础	6
2.1 统计常用术语	6
2.2 统计特征数	7
2.3 异常数据的检验	10
2.4 试验数据的分类与整理	11
2.5 统计表与统计图	15
2.6 试验设计基本概念	19
2.7 试验误差及控制	21
2.8 试验设计的基本原则	24
第3章 统计假设检验	27
3.1 理论分布	27
3.2 抽样分布	36
3.3 统计假设检验	41
3.4 正态总体参数的假设检验	47
3.5 二项分布百分数的假设检验	60
3.6 统计假设检验应注意的问题	63
3.7 总体参数的区间估计	65
第4章 因素试验与方差分析	74
4.1 方差分析概述	74
4.2 单因素试验与方差分析	77
4.3 双因素试验与方差分析	89
第5章 试验数据的回归分析	103
5.1 回归分析的基本概念	103
5.2 一元回归分析	104
5.3 多元线性回归分析	119
5.4 多项式回归和正交多项式的应用	128
第6章 正交试验及其数据处理	141

6.1	正交表简介	141
6.2	正交试验设计方法	144
6.3	正交试验结果的极差分析法	146
6.4	正交试验结果的方差分析法	154
6.5	不等水平的正交试验	163
第7章	均匀试验设计	174
7.1	均匀试验设计的概念	174
7.2	均匀设计表	175
7.3	均匀试验设计的基本方法	179
7.4	均匀试验设计的应用实例	180
第8章	回归试验设计	184
8.1	一次回归正交试验设计与分析	184
8.2	二次回归正交组合设计	195
8.3	二次回归旋转组合设计	201
第9章	混料试验设计	209
9.1	混料试验设计的概念及特点	209
9.2	单形混料设计	210
9.3	具有约束条件的混料试验设计	215
9.4	混料的比率设计	218
9.5	混料试验的检验	219
第10章	数据处理软件的应用	221
10.1	Excel 的应用	221
10.2	SPSS 软件的应用	226
10.3	DPS 软件的应用	237
10.4	Design-Expert 软件的应用	248
10.5	SAS 软件的应用	250
附录		256
附录一	标准正态分布表	256
附录二	正态分布的双侧分位数(u_α)表	260
附录三	泊松分布表	261
附录四	χ^2 分布表	263
附录五	t 值表	266
附录六	F 值表	268
附录七	SSR 值表	272
附录八	q 值表	274
附录九	相关系数 r (或 R) 检验值表	275
附录十	常用正交表	277
附录十一	均匀试验设计表	294
附录十二	常用的二次回归通用旋转组合设计表	305
参考文献		310



第1章 绪论

食品试验设计与数据处理是数理统计原理和方法在食品科学研究中的具体应用。食品研究的重要表现形式是新产品、新工艺的研制与开发,把琳琅满目的食品提供给社会,以满足不同层次、不同需求、不同用途的人们对食品多样化、合理化的要求。提高食品行业的科研能力是食品科学与工程本科专业培养的最主要目标之一。而食品试验设计与数据处理是贯穿食品科学研究工作始终的一个重要工具。在培育本专业学生科研能力方面起着重要的作用。食品研究是一个数据的收集、整理、分析的过程。从国内外有关食品的期刊、杂志上,可以明显地发现国内与国外食品研究在试验设计与数据分析方面存在的差距。因此将食品研究中常用的研究方法介绍给从事食品研究人员是非常必要的。科学地进行试验,正确地收集、整理、分析数据,从而得出客观、科学的结论;掌握基本的试验(调查)设计和统计分析方法,是食品科学与工程专业学生必须掌握的基本技能,为食品科学与工程的研究打下必要的基础。

1.1 食品试验设计与数据处理在食品研究中的作用

俗话说“国以民为先,民以食为天”。食物是人类赖以生存的物质基础,是人类发展的原动力。在当今社会,食物成分数据已成为一个国家必需的公共数据。食物成分数据不仅是国家制定食物发展纲要,实施有关营养政策和开展食品贸易的基础,也是医学界,食品行业进行科学研究必不可少的基础性资料。食品工业是整个工业中为国家解决城乡就业人数最多、与农业关联度最强的产业。食品工业的发展对于提高民族素质,满足人民生活水平由温饱型向小康型转变、保持社会的稳定,具有十分重要的作用。食品工业在实现农业产业化经营中占有重要地位,对于延伸农业产业链,提高农业和农村经济的效益,提高我国农业的竞争力,也具有十分重要的作用。

人民群众收入的增加和生活的改善以及对工业化食品的多方面要求,为食品工业发展提供了广阔的市场空间。我国食品工业总产值以年均递增 10% 以上的速度持续快速发展,目前已发展成为门类比较齐全,具有一定的农产品转化能力,既能基本满足国内市场需求,满足城乡人民生活需求,又具有一定的出口竞争能力,且具有一定发展潜力的产业。随着社会的进步、生活节奏的加快和经济收入的提高,人们改善生活质量的愿望越来越强烈,饮食上在具有了足够数量的食品以后,对食品的要求就更注重安全、卫生、营养、保健、方便和风味。也就是希望既吃得营养又减轻家务劳动的负担。既能通过食物增强保健,又能享受到各自喜爱的口味和风味。不同群体不同消费层次对食物的品种、质量、档次有不同的要求,食物消费行为呈现更强烈的个性化、多样化、层次化。随着消费者自我保护意识的提高,人们在工业化食品的消费中会更注重产品质量,而对优质品牌的消费意识,将继续普遍增强,对食物的要求也逐步由“温饱型”向“营养健康型”转变。

我国的食品行业是一个传统行业,有着悠久的历史。但大多数企业存在着规模小、技术落后、劳动生产力水平低、经济效益差、产品单一的问题。如罐头行业等一些产品,产品的品种、包装、质量、口味等几十年都不变,不能满足变化的市场需求。所以食品工业结构调整应进一步优化,在注重开发新产品的同时,以市场为导向,积极调控,合理布局,增加产品的市场竞争力。食品产业链包括农业、饲料业、食品加工业、餐饮业、食品商业外贸以及食品相辅相成的食品机械、食品包装、食品添加剂、食品检测、食品人才的培训、食品科研等一系列产业。从世界上十几个大集团企业的成功经验可以看出,改变中国食品工业的落后面貌,需要集团化、高速度、超常规、跳跃式、高起点、多元化,这是一个历史发展的规律,发展的关键是制订科学的计划和合理的企业发展战略。

为了适应食品工业的快速发展,必须要加大食品科学研究的力度。进行科学研究离不开调查或试验。进行调查或试验必须解决两个问题:如何合理地进行调查或试验设计;如何科学地整理、分析所收集的具有变异的数据资料,揭示出隐藏在其内部的规律性。

食品试验设计与数据处理是数理统计原理和方法在食品科学研究中的具体应用。它在食品科学研究中的作用主要体现在以下两个方面。

(1) 提供调查或试验设计的方法 试验设计有广义与狭义之分。广义的试验设计是指试验研究的课题设计,也就是指整个试验计划的拟订。主要包含课题名称、试验目的、研究依据、内容以及预期达到的效果,试验方案,经济效益或社会效益的估计,已具备的研究条件,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(试验单元)的选取、重复数目的确定、试验单位的分组和试验处理的安排。本书所讲的试验设计主要指狭义的试验设计,即根据试验研究的目的,科学地进行试验方案设计,也即如何进行试验。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,为统计分析提供必要的数据。食品试验研究中常用的试验设计方法有完全随机设计、随机区组设计、正交设计、均匀设计、回归设计和混料设计等。

调查设计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订,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。狭义的调查设计主要包含抽样方法的选取,抽样单位与数目的确定等。通常讲的调查设计主要是指狭义的投资设计。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。

(2) 提供对试验数据进行整理、统计分析和数据处理的方法 整理分析数据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、统计图可以大致看到所得资料集中、离散的情况,并利用所收集的数据计算样本统计量,以表示该资料的数量特征、估计相应的总体参数。统计分析是用数学逻辑研究总体变量的方法,它从误差理论出发,一方面,提出控制误差的具体途径,以减少试验误差,提高试验精度;另一方面,它研究误差出现的规律性,科学分析试验结果,做出科学结论。即想让数据变化大,应该如何做;想让数据变化小,又应该如何做。数据处理是利用数据处理软件对数据进行归纳和分析,以发现其中的规律。统计分析方法主要有参数估计、方差分析、多重

比较、极差分析、相关和回归分析等。

1.2 试验设计在食品研究中的必要性

以大枣的干燥试验为例。

要研究热风温度 T 对大枣干燥的影响。热风温度 T 分成 5 个档次: 50 °C、60 °C、70 °C、80 °C、90 °C。

要想知道 T 取何值大枣的干燥效果最好, 至少需要做的试验次数 $N=5$, 即每个温度都要做一次试验, 才能进行比较, 找到适宜的干燥温度。

要研究热风温度 T 、空气流速 v 对大枣干燥的影响。 T 、 v 都分成 5 个档次。

T : 50 °C、60 °C、70 °C、80 °C、90 °C;

v : 1 m/s、2 m/s、3 m/s、4 m/s、5 m/s。

要想知道 T 、 v 分别取何值组合在一起大枣的干燥效果最好, 至少需要做的试验次数 $N=5^2=25$, 即 2 个参数每个档次组合都要做一次试验, 才能进行比较, 找到适宜的组合。

要研究热风温度 T 、空气流速 v 、空气相对湿度 φ 对大枣干燥的影响。 T 、 v 、 φ 都分成 5 个档次。

T : 50 °C、60 °C、70 °C、80 °C、90 °C;

v : 1 m/s、2 m/s、3 m/s、4 m/s、5 m/s;

φ : 10%、20%、30%、40%、50%。

要想知道 T 、 v 、 φ 分别取何值组合在一起大枣的干燥效果最好, 至少需要做的试验次数 $N=5^3=125$, 即 3 个参数每个档次组合都要做一次试验, 才能进行比较, 找到适宜的组合。

要研究热风温度 T 、空气流速 v 、空气相对湿度 φ 、空气压力 p 对大枣干燥的影响。 T 、 v 、 φ 、 p 都分成 5 个档次。

T : 50 °C、60 °C、70 °C、80 °C、90 °C;

v : 1 m/s、2 m/s、3 m/s、4 m/s、5 m/s;

φ : 10%、20%、30%、40%、50%;

p : 10 Pa、100 Pa、1 000 Pa、10 000 Pa、100 000 Pa。

要想知道 T 、 v 、 φ 、 p 分别取何值组合在一起大枣的干燥效果最好, 至少需要做的试验次数 $N=5^4=625$, 即 4 个参数每个档次组合都要做一次试验, 才能进行比较, 找到适宜的组合。

从大枣的干燥试验可以看出: 随着考察参数的增加, 试验次数就急剧增加。不但使研究周期拉长, 而且会消耗大量的人力、物力和财力。因此, 如何减少试验次数, 是每一个研究人员必须解决的一个问题。

试验设计的目的: ①科学地进行试验; ②用最少的试验次数达到较好的试验效果; ③科学地分析试验数据, 从中发现应有的规律; ④通过试验研究撰写研究论文。

试验设计的意义: ①缩短试验周期; ②节省人力、物力和财力; ③为课题的研究奠定基础。

1.3 数据处理是统计学的现代手段

统计学是进行数据收集、统计分析、推论的理论和方法,其形成与发展主要经历了以下三个阶段:古典记录统计学——统计学的奠基阶段,近代统计学——统计学体系形成的阶段,现代统计学——统计学全面发展的阶段。

第一阶段为古典记录统计学,形成期间大致在 17 世纪中叶至 19 世纪中叶。在最初兴起时,通过用文字或数字如实记录与分析国家社会经济状况,初步建立了统计研究的方法和规则。到概率论被引进之后,才逐渐成为一种较成熟的方法。最初卓有成效地把古典概率论引进统计学的是法国天文学家、数学家、统计学家拉普拉斯(P. S. Laplace, 1749—1827)。因此,后来比利时大统计学家凯特勒指出,统计学应从拉普拉斯开始。

第二阶段为近代描述统计学,形成期间大致在 19 世纪中叶至 20 世纪上半叶。由于这种“描述”特色由一批原是研究生物进化的学者们提炼而成,因此历史上称他们为生物统计学派。生物统计学派的创始人是英国的高尔登(F. Galton, 1822—1911),主将是高尔登的学生泊松(K. Poisson, 1857—1936)。

第三阶段为现代推断统计学,形成期间大致在 20 世纪初叶至 20 世纪中叶。人类历史进入 20 世纪后,无论社会领域还是自然领域都向统计学提出更多的要求。各种事物与现象之间繁杂的数量关系以及一系列未知的数量变化,单靠记录或描述的统计方法已难以奏效。因此,相继产生了“推断”的方法来掌握事物总体的真正联系以及预测未来的发展。从描述统计学到推断统计学,这是统计学发展过程中的一个巨大飞跃。对现代推断统计的建立贡献最大的是英国统计学家哥塞特(W. S. Gosset, 1876—1937)和费雪(R. A. Fisher, 1890—1962)。

我国对统计学的应用始于 1913 年顾澄教授翻译的统计学名著《统计学之理论》。这是英国统计学家在 1911 年出版的关于描述统计学的著作,也是英美数理统计学传入中国的开始。新中国成立以后,许多生物学工作者积极从事统计学理论与实践的应用研究,使生物统计学在农业科学、医学科学、生物学、遗传学、生态学等学科领域发挥了重要作用。应用试验设计方法和统计分析理论进行农作物品种产量比较试验、动物饲养试验、动植物育种中遗传资源和亲子代遗传的分析等都取得了较好成果。随着计算科学的发展与计算机的普及,出现了许多统计分析软件,如 SPSS(statistical package for the social science)、SAS(statistical analysis system)、DPS(data processing system)等,为统计分析提供了极大的方便。随着试验技术的发展和通用数据处理软件的开发和应用,提高了试验设计和统计分析的科学性。

1.4 本书的主要内容

本书的主要内容包括试验设计与数据处理两部分。主要体现在以下几个方面。

(1) 试验设计与统计分析的基本概念 主要介绍统计常用术语、统计特征数、异常数据的检验、试验数据的分类与整理、试验设计基本概念、试验误差及控制、试验设计的基本原则等。

(2)数据的整理及统计量计算 对收集的原始数据进行整理,编制成次数分布表和次数分布图,定性地描述数据的基本规律,然后再进一步计算出描述数据基本规律的统计量,定量描述数据的基本规律。

(3)显著性检验 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数据。产生变异的原因可能是由于进行比较的处理间(例如不同生产工艺方法、不同处理方法间)有实质性的差异,也可能是由于无法控制的偶然因素引起了数据的波动。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、 F 检验、 χ^2 检验、方差分析等。通过显著性检验,揭示出处理间是否存在本质差异。

(4)相关分析与回归分析 统计分析的另一个重要内容就是对试验指标间的关系进行研究,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。通过对数据进行相关分析与回归分析,可以揭示出试验指标与影响因素间的内在联系。并在此基础上找到最佳参数组合,进行参数对指标的影响规律分析、响应面分析、多指标的参数优化等。

(5)试验设计 无论是调查研究还是科学试验,事先都必须作好周密的试验设计,根据试验设计的原则、方法以及样本容量的估计等设计试验。本书介绍的试验设计方法主要有完全随机设计、配对设计、随机区组设计、正交设计、回归设计、均匀试验设计、混料试验设计等。

通过本书的学习,要具备以下能力:①能够根据试验目的科学地安排试验;②能够进行相应的数据处理;③能正确使用数据处理软件。

Food 第2章 试验设计与数据处理基础

本章介绍试验设计与统计分析的基本概念,如统计常用术语、统计特征数、异常数据的检验、试验数据的分类与整理、试验设计基本概念、试验误差及控制、试验设计的基本原则等,是学习本课程的基础。在本章中所涉及的知识将贯穿后续各章,是进行试验设计和数据处理的必备知识,必须牢牢掌握。

2.1 统计常用术语

(1) 总体与样本 在数理统计中,根据研究目的确定的研究对象的全体集合称为总体(population),每一研究单位称为个体(individual);依据一定方法由总体中抽取的部分个体组成的集合称为样本(sample)。例如,某方便面企业某班次生产盒装方便面 5 000 份,那么 5 000 份盒装方便面就构成研究总体,每一份盒装方便面就是一个个体;从该总体中随机抽取 100 份来进行分析检测,那么这 100 份盒装方便面就组成一个研究样本。样本中所包含的个体数目称为样本容量或大小(sample size)。例如上述的研究样本容量为 100。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。

(2) 参数与统计量 用来描述总体特征的量称为参数(parameter)。用希腊字母表示,例如用 μ 表示总体平均数,用 σ 表示总体标准差。用来描述样本特征的量称为统计量(statistic),用拉丁字母表示。例如用 $\bar{x}$ 表示样本平均数,用 S 表示样本标准差,用 R 表示极差。通常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。

(3) 准确性与精确性 准确性(accuracy)也称准确度,是指观测值与其真值接近的程度。设某一试验指标或性状的真值为 μ ,观测值为 x ,那么用 x 与 μ 之差的绝对值 $|x - \mu|$ 反映准确度,若 $|x - \mu|$ 越小,则观测值 x 的准确性越高;反之则越低。

精确性(precision)也称精确度,是指重复观测值之间彼此接近的程度,任意两个观测值 x_i, x_j ,其精确性可用 $|x_i - x_j|$ 衡量。若观测值彼此接近,即 $|x_i - x_j|$ 越小,则观测值精确性越高;反之越低。准确性、精确性的意义如图 2.1 所示。



图 2.1 准确性与精确性示意图

图 2.1(a) 观测值密集于真值 μ 两侧,其准确性高,精确性亦高;图 2.1(b) 观测值稀疏地分散于真值 μ 的两侧,其准确性高,但精确性低;图 2.1(c) 观测值密集于远离真值 μ 的一侧,准确性低,精确性高;图 2.1(d) 观测值稀疏地分布于远离真值 μ 的一侧,其准确



性、精确性都低。

(4) 随机误差与系统误差 在科学试验中, 试验指标除受试验因素影响外, 还会受到许多其他非试验因素的干扰, 从而产生误差。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, 这是由无法控制的内在和外在的偶然因素所造成的。由于随机误差带有偶然性, 在试验中, 即使十分小心, 随机误差也是不可避免的, 但可减小。随机误差的存在会影响试验的精确性, 统计上的试验误差常指随机误差, 这种误差越小, 试验的精确性越高。

系统误差, 这是由于试验对象相差较大, 试验周期较长, 试验条件未控制相同, 测量仪器不准、标准试剂未经校正等所引起的。系统误差会影响试验的准确性, 但可以通过改进试验方法、正确设计试验来避免、消除。

2.2 统计特征数

2.2.1 平均数

平均数是反映观测值集中性(分布中心点)的统计量。平均数可以分为算术平均数(arithmetic mean)、几何平均数(geometric mean)、调和平均数(harmonic mean)、中位数(median)和众数(mode)等。其中最常用者是算术平均数, 简称平均数。

2.2.1.1 算术平均数

设 $\bar{x}$ 代表 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 等 n 个变数的算术平均数, 则有如下关系式:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.1)$$

式中 $\sum$ 为求和(summation)符号, $\sum_{i=1}^n x_i$ 指 $x_1 + x_2 + \dots + x_n$ 的总和。

【例 2.1】对某豆粉企业所生产的 10 袋小包装产品净质量(单位:g)进行测定, 结果为 25.0、24.8、26.5、26.2、25.1、24.9、28.0、27.9、25.5、24.8, 求其平均数。

解: 由于 $\sum x = 25.0 + 24.8 + 26.5 + 26.2 + 25.1 + 24.9 + 28.0 + 27.9 + 25.5 + 24.8$
 $= 258.7$

$n = 10$

所以, 算术平均数 $\bar{x} = \frac{258.7}{10} = 25.87 \text{ g}$

小包装产品的净质量平均为 25.87 g。

2.2.1.2 中位数

中位数是指观测值由大到小依次排列后, 居于中间位置的那个数值。中位数也称为中数, 记作 M_d 。

中位数的计算比较方便。将资料数据按大小顺序排列,中位数在数列中的位次可用算式 $\frac{n+1}{2}$ 来确定,处于这一位次上的数就是我们要求的中位数 M_d 。如果资料中数据的数目为偶数时,则其中间两个数的算术平均数为中位数。

【例 2.2】某加工小组有 5 名工人,日生产的产品件数排列次序为 20,20,23,25,26。求其中位数。

解:中位数的位次为 $\frac{n+1}{2} = \frac{(5+1)}{2} = 3$

即第三个工人所完成的件数(23 件)是中位数。倘若第 6 名工人日产件数为 29 件,则 $\frac{n+1}{2} = \frac{(6+1)}{2} = 3.5$,说明中位数在第 3 人和第 4 人所完成的件数之间,中位数取值为: $\frac{(23+25)}{2} = 24$ 件。

2.2.1.3 众数

众数(M_0)是观测值中出现次数最多的那个数值。

平均数、中位数和众数均可反映观测值的集中性,在实际中如何应用,要看具体情况而定。平均数简明易懂,便于代数运算,因此用得最多。但当数列两端有异常大小值时,平均数易受其影响,使其失去代表性。当数列一端有开口时,无法求其平均值。因此,常使用中位数 M_d 以求方便。众数 M_0 有时在市场销售中用到。

2.2.2 变异数

度量数据离散性(分布范围)的统计特征量称为变异数,有极差(range)、方差(variance)、标准差(standard deviation)和变异系数(coefficient of variation, CV)等。

2.2.2.1 极差

极差表示资料中各观测值变异程度大小最简便的统计量,是资料中最大值与最小值之差,记为 R 。

$$R = \max(x_1, x_2, \dots, x_n) - \min(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2.2)$$

极差越大,则资料中各观测值变化的范围越大。但极差比较粗略,仅仅利用了资料中的最大值和最小值的信息,并不能准确表达出资料中各观测值的变异程度。当数据很多而又要迅速对数据的变异程度做出判断时,可利用极差统计量。

2.2.2.2 方差

为了准确地表示样本内各个观测值的变异程度,要采用方差。

对于总体参数称为总体方差,记为 σ^2 。

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \mu)^2}{n} \quad (2.3)$$

对于样本参数称为样本方差,记为 S^2 。

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (2.4)$$



其中, $\sum (x_i - \bar{x})^2$ 称为离均差平方和, 记为 SS ; $n-1$ 称为自由度, 记为 f ; S^2 是 σ^2 的估计值, 记为 $\hat{\sigma}^2$ 。

从样本方差的计算式可以看出, 数据同时加减同一个数, 样本方差不变。

2.2.2.3 标准差

统计学上把方差 S^2 的平方根称为标准差 (standard deviation), 记为 S , 其单位与观测值的度量单位相同。由样本资料计算标准差的定义公式为

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.5)$$

为了便于计算, S 的计算可整理成下式

$$S = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n-1}} \quad (2.6)$$

【例 2.3】对某企业所生产的小包装豆粉随机抽检, 其净质量为 (单位: g): 20, 21, 19, 18, 25, 22, 23, 20, 21。试计算其标准差。

解: 根据标准差公式

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{\sum (20^2 + 21^2 + \cdots + 21^2) - \frac{[\sum (20 + 21 + \cdots + 21)]^2}{9}}{9-1}} = 2.12 \end{aligned}$$

2.2.2.4 变异系数

变异系数也是衡量数据变异程度的一个统计量。当两个或多个数据相互比较其变异程度时, 如单位不同且平均数差异很大时, 欲比较其变异程度就不能采用标准差, 而须用标准差与平均数的比值来比较, 这个比值称为变异系数, 用符号 CV 表示。

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\% \quad (2.7)$$

用变异系数 CV 可以比较不同样本相对变异程度的大小。

2.2.3 平均数和标准差的性质

2.2.3.1 平均数的性质

(1) 变量 x 对其平均数 $\bar{x}$ 的偏差和 (离差和) 为零, 即 $\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) = 0$ 。

(2) 样本各观测值与平均数之差的平方和为最小, 即离均差平方和为最小。

设 a 为任意常数, 则有 $\sum (x_i - a)^2 \geq \sum (x_i - \bar{x})^2$ 。