



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



普通高等教育农业部“十三五”规划教材

Basic Food Experiment Design and Statistical Analysis

食品试验设计与 统计分析基础

第3版

张吴平 杨 坚◎主编

明道绪 王钦德◎主审



中国农业大学出版社

China Agricultural University Press



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



普通高等教育农业部“十三五”规划教材

食品试验设计与 统计分析基础

第3版

张吴平 杨 坚 主编
明道绪 王钦德 主审

中国农业大学出版社

· 北京 ·

食品试验设计与统计分析基础
第3版
张吴平 杨 坚 主编
明道绪 王钦德 主审
中国农业大学出版社
地址：北京市海淀区中关村大街17号
电话：(010) 62732667
网址：http://www.cau.edu.cn
ISBN 978-7-03-051287-5
定价：55.00元

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

内容简介

本书是在上一版应用的基础上,广泛收集读者的反馈信息后编写而成的。第3版引入了二维码,使纸质教材与数字化内容相融合。本书的内容包括食品试验设计与统计分析的作用、特点及发展概况,试验数据的整理与特征数,统计数据的理论分布与抽样分布,统计假设检验,方差分析,直线回归与相关,非参数检验,试验设计基础,两种常用的试验设计方法。书后给出了常用的统计用表以及数据分析和统计处理软件供读者参考。本教材可以作为食品专业本科生及相关科研人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

食品试验设计与统计分析基础 / 张吴平,杨坚主编. —3版. —北京:中国农业大学出版社,2019.5

ISBN 978-7-5655-2079-2

I. ①食… II. ①张… ②杨… III. ①食品检验-试验设计-高等学校-教材 ②食品检验-统计分析-高等学校-教材 IV. ①TS207.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 177729 号

书 名 食品试验设计与统计分析基础 第3版

作 者 张吴平 杨 坚 主编 明道绪 王钦德 主审

策划编辑 宋俊果 刘 军

责任编辑 韩元凤

封面设计 郑 川

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路2号

电 话 发行部 010-62818525,8625

编辑部 010-62732617,2618

网 址 <http://www.caupress.cn>

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2019年5月第3版 2019年5月第1次印刷

规 格 787×1 092 16开本 19.75印张 490千字

定 价 48.00元

邮政编码 100193

读者服务部 010-62732336

出 版 部 010-62733440

E-mail cbsszs@cau.edu.cn

图书如有质量问题本社发行部负责调换

第3版编审人员

全国高等学校食品类专业系列教材

编审指导委员会委员

(按姓氏拼音排序)

毕 阳	甘肃农业大学	孟素荷	中国食品科学技术学会
陈 卫	江南大学	南庆贤	中国农业大学
陈复生	河南农业大学	蒲 彪	四川农业大学
陈绍军	福建农林大学	钱建亚	扬州大学
陈宗道	西南大学	史贤明	上海交通大学
董海洲	山东农业大学	孙宝国	北京工商大学
郝利平	山西农业大学	孙远明	华南农业大学
何国庆	浙江大学	田洪涛	河北农业大学
贾英民	河北科技大学	王 硕	天津科技大学
江连洲	东北农业大学	夏延斌	湖南农业大学
李洪军	西南大学	谢笔钧	华中农业大学
李新华	沈阳农业大学	谢明勇	南昌大学
李云飞	上海交通大学	薛长湖	中国海洋大学
林家栋	中国农业大学	严卫星	国家食品安全风险评估中心
刘金福	天津农学院	岳田利	西北农林科技大学
刘景圣	吉林农业大学	赵丽芹	内蒙古农业大学
刘静波	吉林大学	赵谋明	华南理工大学
罗云波	中国农业大学	周光宏	南京农业大学
马 涛	渤海大学		

第3版编审人员

出版说明

主 编 张吴平(山西农业大学) 副主

杨 坚(西南大学)

编 者 张吴平(山西农业大学) 副主编

杨 坚(西南大学)

王国芳(山西农业大学)

单虹丽(四川农业大学)

高鹏飞(山西农业大学)

乔旭光(山东农业大学)

马 玲(山西农业大学)

金 凤(内蒙古农业大学)

童华荣(西南大学)

李德海(东北林业大学)

庞 杰(福建农林大学)

主 审 明道绪(四川农业大学)

王钦德(山西农业大学)

第2版编审人员

主 编 王钦德(山西农业大学) 主
杨 坚(西南大学)

副主编 庞 杰(福建农林大学) 参 编
张吴平(山西农业大学)
单虹丽(四川农业大学)

参编者 乔旭光(山东农业大学)
童华荣(西南大学)
任锦香(山西农业大学)
金 凤(内蒙古农业大学)

主 审 明道绪(四川农业大学)

(学大业林北中) 参 编

(学大林农农森) 参 编

(学大业农川四) 参 编 主

(学大业农西山) 参 编

出版说明

(代总序)

时光荏苒,食品科学与工程系列教材第一版发行距今,已有14年。总计120余万册的发行量,已经表明了这套教材受欢迎的程度,应该说它是全国食品类专业教育使用最多的系列教材。

这套教材已成为经典,作为总策划的我,在再再版的今天,重新翻阅这套教材的每一科目、每一章节,在感慨流年如水的同时,更有许多思考和感激。这里,借出版说明(代总序)的机会,再一次总结本套教材的编撰理念和特点特色,也和我挚爱的同行们分享我的感悟和喜乐。

第一,优秀的教材一定是心血凝成的精品,杜绝任何形式的粗制滥造。

14年前,全国40余所大专院校、科研院所,300多位一线专家教授,涵盖生物、工程、医学、农学等领域,齐心协力组建出一支代表国内食品科学最高水平的教材撰写队伍。著作者们呕心沥血,在教材中倾注平生所学,那字里行间,既有学术思想的精粹凝结,也不乏治学精神的光华闪现,诚所谓学问人生,经年积成,食品世界,大家风范。这精心的创作,和彼敷衍的粘贴,其间距离,岂止云泥!

第二,优秀的教材必以学生为本,不是居高临下的自说自话。

注重以学生为本,就是彻底摒弃传统填鸭式的教学方法。著作者们谨记“授人以鱼不如授人以渔”,在传授食品科学知识的同时,更启发食品科学人才获取知识和创造知识的思维与灵感。润物细无声中,尽显自由思想,彰耀独立精神。在写作风格上,也注重学生的参与性与互动性,接地气,说实话,深入浅出,有料有趣。

第三,优秀教材与时俱进、推陈出新,绝不墨守成规、原地不动。

首版再版再再版,均是在充分收集和尊重一线任课教师和学生意见的基础上,对新增教材进行科学论证和整体策划。每一次工作量都不小,几乎覆盖食品学科专业的所有骨干课程和主要选修课程,但每一次都不敢有丝毫懈怠,内容的新颖性,教学的有效性,齐头并进,一样都不能少。具体而言,此次再再版,不仅增添了食品科学与工程最新理论发展,又以相当篇幅强调了食品工艺的具体实践。

每本教材,既相对独立又相互衔接互为补充,构建起系统、完整、实用的课程体系。

第四,优秀教材离不开出版社编辑人员的心血倾注。

同为他人作嫁衣裳,教材的作者和编辑,都一样的忙忙碌碌,飞针走线。这套系列教材的编辑们站在出版前沿,以其炉火纯青的专业技能,辅以最新最好的出版传播方式,保证了这套教材的出版质量和形式上的生动活泼。编辑们的高超水准和辛勤努力,赋予了此套教材蓬勃旺盛的生命力。

这里,我也想和同行们分享以下数字,以表达我发自内心的喜悦:

第1版食品科学与工程系列教材出版于2002年,涵盖食品学科15个科目,全部入选“面向21世纪课程教材”。

第2版(再版)食品科学与工程系列教材出版于2009年,涵盖食品学科29个科目。

第3版(再再版)食品科学与工程系列教材将于2016年暑期出版(其中《食品工程原理》为第4版),涵盖食品学科36个科目,增加了《食品工厂设计》《食品分析》《食品感官评价》《葡萄酒工艺学》《生物技术安全与检测》等9个科目,调整或更名了部分科目。

需要特别指出的是,这其中,《食品生物技术导论》《食品安全导论》《食品营养学》《食品工程原理》4个科目为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材;《食品化学》《食品化学综合实验》《食品工艺学导论》《粮油加工学》《粮油加工学实验技术》《食品酶学与工程》6个科目为普通高等教育农业部“十二五”规划教材;《食品生物技术导论》《食品营养学》《食品工程原理》《粮油加工学》《食品试验设计与统计分析》为“十五”或“十一五”国家级规划教材。

本套食品科学与工程系列教材出版至今已累计发行超过126万册,使用教材的院校140余所。

第3版有500余人次参与编写,参与编写的院所近80家。

本次出版在纸质基础上引入了数字化元素,增加了二维码,内容涉及推荐阅读文字,直观的图片展示,以及生动形象的短小视频等,使教材的内容更加丰富、信息量更大,形式更加活泼,使用更加便捷,与学生的阅读和学习习惯更加贴近。

虽然我的确有敝帚自珍的天性,但我也深深地知道,世上的事没有百分百的完美。我还要真心地感谢在此套教材中肯定存在的那些不完美,因为正是她们给了我们继续向前的动力。这里,我真诚地期待大家提出宝贵意见,让我们与这套教材一起共同成长,更加进步。

罗云波

2016年5月5日 于马连洼

第3版前言

《食品试验设计与统计分析基础》(第2版)自出版以来,赢得了全国范围内食品专业师生广泛好评与信任,为我国高等院校食品科学和食品工程专业教育教学改革和发展发挥了积极的推动作用。

为进一步提升教材编写出版质量,促进该教材的纸质版与数字化融合,食品科学与工程系列教材编审指导委员会组织编修会议,在此基础上,本书编委会对教材进行了再次全面的修订。本次教材的修订充分贯彻落实教育部教改精神,在进一步提升教材质量的基础上,使本教材更加符合新形势下的教学要求。

第3版教材保留了原来教材的框架结构,对各章内容进行了重新修订和更新。教材包括9章内容,分别为绪论,试验数据的整理与特征数,统计数据的理论分布与抽样分布,统计假设检验,方差分析,直线回归与相关,非参数检验,试验设计基础,两种常用的试验设计方法。附录保留了第2版的EXCEL数据分析,增加了SAS统计处理软件和SPSS软件介绍。

为使数字化内容与纸质教材相融合,本次修订对教材内容进行了适当的二维码技术处理。按照下面3个原则进行了二维码引入:①不影响教材内容与理论讲解上的连贯性与逻辑性;②在原版教材篇幅上做“减法运算”,内容缩减10%~20%,缩减内容体现在二维码中;③与二维码对应的数字内容可以适当丰富,更加有利于读者阅读理解。

修订中对第2版中出现的笔误和排版错误作了更正。

第3版教材由山西农业大学张吴平教授和西南大学杨坚教授主编,参加修订人员有:福建农林大学庞杰,西南大学童华荣,四川农业大学单虹丽,东北林业大学李德海,内蒙古农业大学金凤,山东农业大学乔旭光,山西农业大学王国芳、高鹏飞、马玲。教材由四川农业大学明道绪和山西农业大学王钦德主审。

具体修订分工为,第1章张吴平、杨坚;第2章、第3章王国芳;第4章单虹丽;第5章高鹏飞;第6章乔旭光、马玲;第7章金凤、童华荣;第8章李德海;第9章庞杰。

原教材主编王钦德教授具有丰富的教学和实践经验,他对教材的编写和出版做出了创造性的贡献,因年龄原因不再担任本版的主编,在这里,所有编者和出版社对王教授表示诚挚的感谢。限于修订者的水平,错误、疏漏仍在所难免,敬请各位教师和广大读者批评指正。

编者
2018年3月

第2版前言

本书“面向21世纪课程教材”《食品试验设计与统计分析》(第1版),自2003年2月出版以来,被全国高校食品专业师生广泛采用,反响很好,已多次印刷,对食品科学各本科专业试验设计与统计分析课程的教学做出了积极贡献。2006年,该选题又被教育部审批为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”。

为贯彻落实教育部有关教改精神,进一步提高教材质量,使其符合新形势下的教学要求,成为名副其实的国家规划教材,本书编委会汲取以往成功的经验,采纳广大师生合理的建议,并针对使用中发现问题,对原教材进行了全面修订。

第2版在第1版的基础上作了如下改动:

考虑到不同层次使用对象对内容和篇幅的不同要求,全书由原来的1册改为《食品试验设计与统计分析基础》和《高级食品试验设计与统计分析》2册,分别独立出版。

《食品试验设计与统计分析基础》共有9章内容,主要依据第1版中第10章之前的内容进行修订和增删。将第1章的内容由2节划分为4节,并做了次序上的调整;将第2章中的“数字资料的性质”改为“数据资料的来源与种类”,并将第5节“异常数据的处理”调整到第8章;第5章的第2节“多重比较”增加了“Dunnnett法”,第5节“方差分析的基本假定和数据转换”中增加了“方差同质性检验”;第6章“直线回归与相关”增加了“对回归截距的检验、两条回归直线的比较、校正系数的制定、总体相关系数的置信区间”;删除了第7章“多元线性回归和相关”;第8章“非参数统计”改为第7章;第9章“试验设计基础与抽样方法”改为第8章“试验设计基础”,并增加了“异常数据的处理”;第9章的“完全随机设计”和第10章的“随机区组设计及统计分析”合并改为第2版的第9章“两种常用试验设计方法”;附录中删除了“统计处理软件(SAS)简介”,增加了“Excel数据分析简介”;对第1版的个别笔误和排版错误作了更正;对附录中的统计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;从篇幅要求以及有利于提高学生独立练习能力方面考虑,删除了习题参考答案。《食品试验设计与统计分析基础》,主要是为普通高等学校食品科学类专业本科和专科学生编写的,也可作为同类专业成人教育教材。此外,对食品科技工作者亦有重要参考价值。

《高级食品试验设计与统计分析》共有6章内容。第1章是由第1版的第7章修订的,并增加了“多元线性回归的区间估计”;第2、3、4、5章分别是由第1版的第11、13、12、14章修订的;增加了“第6章主成分分析”;对附录中“统计处理软件(SAS)简介”作了适当增补;删除了习题参考答案;增加了相关的绪论内容。《高级食品试验设计与统计分析》主要是为食品科学类专业的硕士研究生编写的,也可作为相关专业的科技、教育工作者的重要参考用书。

第2版仍由山西农业大学王钦德教授和原西南农业大学(现合并为西南大学)杨坚教授主编,参加修订的人员有福建农林大学庞杰、山西农业大学张吴平、四川农业大学单虹丽、山东农业大学乔旭光、西南大学童华荣、山西农业大学任锦香、西北农业大学杜双奎、江西农业大学沈

勇根和内蒙古农业大学金凤。

具体修订分工如下：

《食品试验设计与统计分析基础》：第1章，王钦德、杨坚；第2章，任锦香；第3章，张吴平；第4章，单虹丽；第5章，王钦德；第6章，乔旭光；第7章，王钦德、童华荣、金凤(χ^2 检验)；第8章，庞杰、王钦德；第9章，单虹丽、金凤(完全随机设计)；附录，张吴平；汉英术语对照，王钦德、张吴平。《高级食品试验设计与统计分析》：第1章，王钦德；第2章，沈勇根；第3章，杨坚；第4章，杜双奎；第5章，王钦德、童华荣；第6章，张吴平；附录，张吴平；汉英术语对照，王钦德、张吴平。修订完稿后，由主编王钦德和副主编张吴平负责统稿，对基本概念、基本原理、基本方法的叙述以及例题的分析仔细推敲、斟酌，对有关内容做了必要的修改与增删，并请四川农业大学明道绪教授审阅。

特别需要说明的是，第1版中的编写人员山西农业大学王如福老师因为工作原因、湖南农业大学谭敬军老师因在国外做研究，未能参加第2版的修订，由其他编写人员在其原有基础上进行修订。两位老师在第1版的编写中付出了艰苦劳动，主编和所有编写人员在此表示衷心感谢！

在第2版的修订过程中，参考了许多有关中外文献，修订者对这些文献作者，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2版在第1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，敬请统计学专家、教师和广大读者批评指正。

编者
2008年7月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 食品试验设计与统计分析在食品科学研究中的作用	2
1.2 食品科学试验的特点与要求	3
1.3 统计学发展概况	4
1.4 统计学在中国的传播	6
思考题	7
第 2 章 试验数据的整理与特征数	8
2.1 常用术语	9
2.1.1 总体与样本	9
2.1.2 参数与统计量	9
2.1.3 准确性与精确性	9
2.1.4 随机误差与系统误差	10
2.2 数据资料的来源与种类	10
2.2.1 数据资料的来源	10
2.2.2 数据资料的种类	11
2.3 数据资料的整理	11
2.3.1 资料的检查与核对	11
2.3.2 计量资料的整理	12
2.3.3 计数资料的整理	13
2.4 常用统计表与统计图	14
2.4.1 统计表	14
2.4.2 统计图	15
2.5 资料的特征数	17
2.5.1 平均数	17
2.5.2 变异数	20
思考题	23
第 3 章 统计数据的理论分布与抽样分布	25
3.1 理论分布	26
3.1.1 二项分布	26
3.1.2 泊松分布	28
3.1.3 正态分布	30

3.2 抽样分布	34
3.2.1 样本平均数的抽样分布	34
3.2.2 均数标准误	36
3.2.3 两样本均数差数的抽样分布	37
3.2.4 样本均数差数标准误	39
3.2.5 t 分布	40
思考题	41
第4章 统计假设检验	43
4.1 统计假设检验概述	44
4.1.1 统计假设检验的意义和基本原理	44
4.1.2 统计假设检验的步骤	46
4.1.3 统计假设检验的几何意义与两类错误	47
4.1.4 两尾检验与一尾检验	48
4.2 样本平均数的假设检验	49
4.2.1 单个样本平均数的假设检验	49
4.2.2 两个样本平均数的假设检验	51
4.3 二项百分率的假设检验	56
4.3.1 单个样本百分率的假设检验	57
4.3.2 两个样本百分率的假设检验	58
4.3.3 二项百分率假设检验的连续性矫正	59
4.4 统计假设检验中应注意的问题	60
4.4.1 试验要科学设计和正确实施	60
4.4.2 选用正确的统计假设检验方法	60
4.4.3 正确理解差异显著性的统计意义	61
4.4.4 合理建立统计假设,正确计算检验统计量	61
4.5 参数的区间估计	61
4.5.1 总体平均数 μ 的区间估计	62
4.5.2 两个总体平均数差数 $\mu_1 - \mu_2$ 的区间估计	63
4.5.3 二项总体百分率 p 的区间估计	64
4.5.4 两个总体百分率差数 $p_1 - p_2$ 的区间估计	65
思考题	66
第5章 方差分析	68
5.1 方差分析的基本原理	69
5.1.1 平方和与自由度的分解	69
5.1.2 F 分布与 F 检验	72
5.2 多重比较	74
5.2.1 最小显著差数法	75
5.2.2 Dunnett 法	76

5.2.3 最小显著极差法	77
5.2.4 多重比较结果的表示法	79
5.3 单向分组资料的方差分析	80
5.3.1 各处理重复数相等的方差分析	80
5.3.2 各处理重复数不等的方差分析	82
5.4 两向分组资料的方差分析	85
5.4.1 两向分组单独观测值试验资料的方差分析	85
5.4.2 两向分组有相等重复观测值试验资料的方差分析	89
5.5 方差分析的基本假定和数据转换	96
5.5.1 方差分析的基本假定	96
5.5.2 方差同质性检验	97
5.5.3 数据转换	99
思考题	100
第6章 直线回归与相关	102
6.1 回归与相关的概念	103
6.2 直线回归	104
6.2.1 直线回归方程的建立	104
6.2.2 直线回归的假设检验	107
6.2.3 回归方程的拟合度与偏离度	111
6.2.4 回归参数 β_0 、 β 的区间估计	113
6.2.5 两条回归直线的比较	113
6.2.6 直线回归方程的应用	117
6.3 直线相关	120
6.3.1 相关系数	120
6.3.2 相关系数的计算	122
6.3.3 相关系数的假设检验	123
6.3.4 多个变量之间相关系数的计算及检验	124
6.3.5 总体相关系数的置信区间	125
6.3.6 两个相关系数的比较	127
6.4 应用直线回归与相关的注意事项	127
6.5 能直线化的曲线回归	129
6.5.1 曲线回归分析概述	129
6.5.2 能直线化的曲线类型	129
6.5.3 曲线回归分析实例	132
思考题	134
第7章 非参数检验	135
7.1 非参数检验的概念和特点	136
7.2 χ^2 检验	136

7.2.1 χ^2 分布	136
7.2.2 适合性检验	138
7.2.3 独立性检验	141
7.3 符号检验	145
7.3.1 符号检验的步骤	146
7.3.2 大样本的正态化近似	147
7.4 符号秩和检验	147
7.4.1 符号秩和检验的步骤	147
7.4.2 大样本的正态化近似	148
7.5 秩和检验	149
7.5.1 成组设计两样本比较的秩和检验	149
7.5.2 多个样本比较的秩和检验	152
7.5.3 多个样本两两比较的秩和检验	155
7.6 秩相关	157
7.6.1 秩相关系数的计算	157
7.6.2 秩相关系数的假设检验	158
思考题	159
第8章 试验设计基础	162
8.1 试验设计概述	163
8.1.1 试验设计的意义和任务	163
8.1.2 试验设计的方法与作用	163
8.1.3 基本概念	163
8.2 食品试验研究的主要内容	165
8.2.1 食品的线性质量研究和非线性质量研究	165
8.2.2 食品质量研究的几个阶段	166
8.2.3 系统设计、参数设计和允许误差设计	167
8.3 试验设计的基本原则	168
8.3.1 重复	168
8.3.2 随机化	168
8.3.3 局部控制	169
8.4 试验方案	170
8.4.1 试验方案及意义	170
8.4.2 拟订试验方案的要点	171
8.5 试验误差及其控制	173
8.5.1 试验误差的来源	173
8.5.2 试验误差的控制	174
8.6 常用抽样方法概述	176

8.6.1 简单随机抽样	176
8.6.2 顺序抽样	177
8.6.3 随机群组抽样	177
8.6.4 分层随机抽样	179
8.6.5 分级随机抽样	180
8.7 样本含量的确定	183
8.7.1 试验研究中样本含量的确定	183
8.7.2 抽样调查时样本含量的确定	187
思考题	191
第9章 两种常用的试验设计方法	193
9.1 完全随机设计	194
9.1.1 设计方法	194
9.1.2 完全随机设计的优缺点	197
9.2 随机区组设计	198
9.2.1 设计方法	198
9.2.2 随机区组设计的注意事项	199
9.2.3 随机区组设计的优缺点	200
9.2.4 随机区组试验结果的统计分析	201
思考题	211
附录1 附表	213
附表1 正态分布表	213
附表2 正态分布的双侧分位数(u_α)表	216
附表3 t 值表	217
附表4 F 值表(方差分析用)	218
附表5 Dunnett- t' 检验临界值表(双侧)	222
附表6 Dunnett- t' 检验临界值表(单侧)	223
附表7 q 值表	224
附表8 Dunncan's 新复极差检验的 SSR 值	225
附表9 F 值表(两尾、方差齐性检验用) $\alpha=0.05$	226
附表10 r 与 R 的显著数值表	227
附表11 χ^2 值表(一尾)	228
附表12 符号检验用 K 临界值表(双尾)	229
附表13 符号秩和检验用 T 临界值表	230
附表14 秩和检验用 T 临界值表(两样本比较)	231
附表15 秩和检验用 H 临界值表(三样本比较)	232
附表16 等级相关系数 r_s 临界值表	233
附表17 随机数字表	234

附录 2 Excel 系统数据分析处理	236
附录 3 SAS 系统数据分析处理	245
附录 4 SPSS 数据分析简介	263
汉英术语对照	290
参考文献	294