



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



面向 21 世纪课程教材

Textbook Series for 21st Century

GAOJISHIPINSHIYANSHEJIYUTONGJIFEN

GAOJISHIPINSHIYANSHEJIYUTONGJIFEN

GAOJISHIPINSHIYANSHEJIYUTONGJIFEN

高级食品试验设计与 统计分析

(第 2 版)

王钦德 杨 坚 © 主编



中国农业大学出版社

ZHONGGUONONGYEDAXUE CHUBANSHE

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

面向 21 世纪课程教材

Textbook Series for 21st Century

高级食品试验设计与 统计分析

(第 2 版)

王钦德 杨 坚 主编

中国农业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

高级食品试验设计与统计分析/王钦德,杨坚主编.—2版.北京:中国农业大学出版社,2009.6

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
面向21世纪课程教材

ISBN 978-7-81117-791-6

I. 高… II. ①王…②杨… III. 食品工业-科学实验-统计分析 IV. TS2-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第099440号

书 名 高级食品试验设计与统计分析(第2版)

作 者 王钦德 杨 坚 主编

策划编辑 宋俊果 刘 军

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 010-62731190,2620

编辑部 010-62732617,2618

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

经 销 新华书店

印 刷 北京鑫丰华彩印有限公司

版 次 2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷

规 格 787×980 16开本 23印张 420千字

印 数 1~3 000

定 价 29.00元

责任编辑 孟 梅

责任校对 王晓凤 陈 莹

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

编审人员

主 编 王钦德(山西农业大学)

杨 坚(西南大学)

副主编 张吴平(山西农业大学)

参编者 童华荣(西南大学)

杜双奎(西北农业大学)

沈勇根(江西农业大学)

主 审 明道绪(四川农业大学)

第 1 版编审人员

主 编 王钦德(山西农业大学)

杨 坚(西南农业大学)

副主编 庞 杰(福建农林大学)

谭敬军(湖南农业大学)

单虹丽(四川农业大学)

参编者 乔旭光(山东农业大学)

童华荣(西南农业大学)

王如福(山西农业大学)

张吴平(山西农业大学)

主 审 明道绪(四川农业大学)

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)

- | | | | |
|-----|-------------|------|-------------|
| 曹小红 | 天津科技大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 陈绍军 | 福建农林大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 陈宗道 | 西南大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 董海洲 | 山东农业大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 郝利平 | 山西农业大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 何国庆 | 浙江大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 贾英民 | 河北科技大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 江连洲 | 东北农业大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 李洪军 | 西南大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 李里特 | 中国农业大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 李士靖 | 中国食品科学技术学会 | 副秘书长 | 教授 |
| 李新华 | 沈阳农业大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 李云飞 | 上海交通大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 林家栋 | 中国农业大学 | 教授 | 中国农业大学出版社顾问 |
| 罗云波 | 中国农业大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 南庆贤 | 中国农业大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 蒲彪 | 四川农业大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 钱建亚 | 扬州大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 石阶平 | 国家食品药品监督管理局 | 教授 | 博士生导师 |
| 史贤明 | 上海交通大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 孙远明 | 华南农业大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 夏延斌 | 湖南农业大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 谢笔钧 | 华中农业大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 谢明勇 | 南昌大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 杨公明 | 华南农业大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 岳田利 | 西北农林科技大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 赵丽芹 | 内蒙古农业大学 | 教授 | 博士生导师 |
| 周光宏 | 南京农业大学 | 教授 | 博士生导师 |

出版说明并代序

承蒙广大读者厚爱,食品科学与工程系列教材出版6年来,业已成为目前全国高等学校本科食品类专业教育使用最为广泛的主要教科书。出版之初,这套教材便被整体列为教育部“面向21世纪课程教材”,至今已累计发行33万册,其中《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》等书已成为“十五”、“十一五”国家级规划教材。实践证明,这套教材的设计、编写是成功的,它满足了这一时期我国食品生产发展和学科建设的需要,为我国食品专业人才培养做出了积极的贡献。

教材建设是学科建设的重要内容,是人才培养的重要支柱,也是社会和经济发展的反映。近年来,随着我国加入世界贸易组织,食品工业在机遇和挑战并存的形势下得以持续快速的发展,食品工业进入到了一个产业升级、调整提高的关键时期。食品产业出现了许多新情况和新问题,原有的教材无论在内容的广度上,还是在深度上,都已经难以满足时代的需要。教材建设无疑应该顺应时代发展,与时俱进,及时反映本学科科学技术发展的最新内容以及产业和社会经济发展的最新需求。正是在这样的思想指导下,我们重新修订和补充了这套教材。

在中国农业大学出版社的支持下,我们组织了全国40多所大专院校、科研院所的300多位一线专家教授,参与教材的编写工作,专家涉及生物、工程、医学、农学等领域。在认真总结原有教材编写经验的基础上,综合一线任课教师和学生的使用意见,对新增教材进行了科学论证和整体策划,以保证本套教材的系统性、完整性和实用性。新版系列教材在原有15本的基础上新增了20本,主要涉及食品营养、食品质量与安全、市场与企业管理等相关内容,几乎覆盖所有食品学科专业的骨干课程和主要选修课程。教材既考虑到对食品科学与工程最新理论发展的介绍,又强调了食品科学的具体实践。该系列教材力求做到每本既相对独立又相互衔接,互为补充,成为一个完整的课程体系。本套教材除可作为大专院校的教科书外,也可作为食品企业技术人员的参考材料和技术手册。

感谢参与策划、编写这套教材的所有专家学者,他们为这套教材贡献了经验、智慧、心血和时间,同时还要感谢各参与院校和单位所给予的支持。

由于本系列教材的编写工程浩大,加之时间紧、任务重,不足之处在所难免,希望广大读者、专家在使用过程中提出宝贵意见,以使这套教材得以不断完善和提高。

罗云波

2008年8月16日

于马连洼

第2版前言

“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级规划教材,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,并针对使用中发现的问题,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、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、西北农林科技大学杜双奎、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(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》:绪论、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访问学者,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大学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

第 1 版前言

《食品试验设计与统计分析》教材是根据“加强基础、强化专业、拓宽知识面和重视应用”的教改精神组织编写的,是高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革项目(04-18)成果。本教材编委会由山西农业大学王钦德、西南农业大学杨坚、福建农林大学庞杰、湖南农业大学谭敬军、四川农业大学单虹丽、山东农业大学乔旭光、西南农业大学童华荣和山西农业大学王如福、张吴平 9 人组成,于 2001 年 4 月在中国农业大学召开了编写会议。在编写会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,由主编王钦德、杨坚负责统稿,对书稿进行了必要的修改和增删。为了确保教材质量,特聘请四川农业大学明道绪教授为主审,对全部书稿进行了详尽审阅。这本教材得以问世,凝结了全体编、审人员的心血。

本教材包括绪论(杨坚、王钦德编写),数据资料的整理与特征数(王如福编写),理论分布与抽样分布(张吴平编写),统计假设检验(单虹丽编写),方差分析(王钦德编写),直线回归与相关(乔旭光编写),多元线性回归与相关(王钦德编写),非参数统计(童华荣编写),试验设计基础与抽样方法(庞杰、王钦德编写),随机区组设计(单虹丽编写),正交试验设计(谭敬军、杨坚编写),均匀设计(谭敬军编写),回归正交设计(杨坚编写),混料回归试验设计(童华荣编写)共 14 章(其中包括自选内容,已在有关章节的标题上用“*”注明),并附有统计处理软件(SAS)简介(张吴平编写)、英汉术语对照(庞杰整理)及常用统计学用表。

本教材的编写,力求做到内容的科学性、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;各章都有明确的教学目标且配有习题(附简要答案)供读者练习;考虑到教学时数的限制和实际需要,教材中部分内容可作为选用内容(用“*”号标出)。

本教材在保持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实践能力,紧密联系食品科学生产、科研实际,以及统计分析与计算机科学的结合;避免与交叉学科有关内容的重复;力求体现“厚基础、强能力、高素质、广适应”和素质教育与创新教育的教学目标。

本教材除可作为高等农业院校食品科学类专业教学用书外,也可作为轻工、商学、水产、粮食等院校的食品科学、食品工程、发酵工程、生物工程等专业开设《生物统计》课程的教学用书,还可作为食品科学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。

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,对大力支持编写和出版工作的中国农业大学出版社一并表示衷心感谢!

限于编者水平,错误、缺点在所难免,敬请统计学专家和广大读者批评指正,以便修订改正。

编 者

2002-12-02

目 录

绪论	1
0.1 试验设计的特点、任务和作用	2
0.2 试验研究的基本步骤	3
0.3 统计学及其应用概述	7
0.4 关于试验优化与分析的问题	10
思考题	12
第1章 多元线性回归与相关	13
1.1 多元线性回归分析	14
1.1.1 多元线性回归方程的建立	14
1.1.2 多元线性回归方程的假设检验	18
1.1.3 自变量剔除与重新建立多元线性回归方程	23
1.1.4 多元线性回归的区间估计及预测	28
1.2 复相关与偏相关	30
1.2.1 复相关	30
1.2.2 偏相关	33
1.3 通径分析	37
1.3.1 通径系数与决定系数	37
1.3.2 通径系数的性质	39
1.3.3 通径分析的假设检验	43
1.3.4 通径分析的基本步骤	46
1.3.5 通径分析实例	46
1.3.6 进行通径分析时应注意的问题	52
习题	53
第2章 正交试验设计	55
2.1 正交设计的概念及原理	56
2.1.1 正交设计的概念	56

2.1.2	正交设计的基本原理	57
2.2	正交表	58
2.2.1	正交表——正交拉丁方的自然推广	58
2.2.2	正交表的符号表示	59
2.2.3	常用正交表的分类及性质	60
2.2.4	正交表的交互作用列	63
2.3	正交设计的基本步骤	65
2.3.1	明确试验目的,确定试验指标	65
2.3.2	挑因素,选水平	66
2.3.3	选择合适的正交表	66
2.3.4	进行表头设计	67
2.3.5	确定试验方案,实施试验	69
2.3.6	试验结果分析	70
2.4	正交设计试验结果的统计分析	70
2.4.1	直观分析法	70
2.4.2	不考察交互作用的方差分析法	75
2.4.3	考察交互作用的方差分析法	84
2.5	正交设计的灵活运用	92
2.5.1	并列法	93
2.5.2	拟水平法	97
2.5.3	拟因素法	101
	习题	110
第3章	回归正交设计与旋转设计	113
3.1	回归正交设计	114
3.1.1	一次回归正交设计	114
3.1.2	二次回归正交组合设计	126
3.2	回归旋转设计	145
3.2.1	旋转性、旋转设计与旋转性条件	146
3.2.2	二次回归旋转设计	149
3.2.3	二次回归旋转组合设计的统计分析	158
3.2.4	二次回归旋转组合设计示例	163
3.2.5	二次回归组合设计的对数编码	172
	习题	177

第4章 均匀设计	179
4.1 均匀设计的概念	180
4.2 均匀设计表	182
4.2.1 等水平均匀设计表	182
4.2.2 混合水平的均匀设计表	185
4.3 均匀设计方法	187
4.3.1 试验方案设计	187
4.3.2 试验结果分析	191
4.4 均匀试验设计的应用	192
习题	202
第5章 混料回归试验设计	203
5.1 混料设计的概念与特点	204
5.2 单纯形格子设计与统计分析	206
5.2.1 单纯形格子设计的意义	206
5.2.2 单纯形格子设计的步骤	212
5.2.3 单纯形格子设计的统计分析	213
5.3 单纯形重心设计与统计分析	218
5.3.1 单纯形重心设计的意义	218
5.3.2 单纯形重心设计的步骤	221
5.3.3 单纯形重心设计的统计分析	222
习题	226
第6章 主成分分析	227
6.1 主成分分析的基本思想	228
6.2 主成分分析的数学模型与几何意义	229
6.2.1 主成分分析的数学模型	229
6.2.2 主成分分析的几何意义	230
6.3 主成分的求法及性质	232
6.3.1 主成分的导出	232
6.3.2 主成分的性质	238
6.4 主成分分析的步骤及实例	243
6.4.1 主成分分析的步骤	243
6.4.2 主成分分析实例	243
6.5 主成分分析的应用	262



6.5.1	变量的简化	262
6.5.2	主成分与指标变量的相关性分析	262
6.5.3	前 m 个主成分对各指标变量的贡献率	264
6.5.4	综合评价	265
6.5.5	样品分类中的应用	266
6.5.6	由主成分分析构造回归模型	267
6.6	主成分分析的优缺点及注意事项	267
6.6.1	全面性	267
6.6.2	可比性	268
6.6.3	合理性	268
6.6.4	有效性	268
6.6.5	可行性	268
	习题	269
附录	统计处理软件(SAS)简介	271
附表	295
附表 1	t 值表(两尾)	295
附表 2	F 值表(一尾,方差分析用)	296
附表 3	r 与 R 的临界值表	303
附表 4	常用正交表	304
附表 5	均匀设计表	318
附表 6	拟水平构造混合水平均匀设计表的指导表	339
	汉英术语对照	341
	参考文献	347



绪 论

► 教学目标

1. 深刻理解试验设计的特点、任务和作用；
2. 熟悉试验研究的基本步骤；
3. 明确统计学的学科性质及其应用；
4. 了解试验优化与分析的有关问题。